

Työkaluja kaupunkien ilmasto-ohjelmien vaikutusten arviointeihin

Johannes Lounasheimo, Ismo Hämäläinen, Ari Nissinen, Jyri Seppälä (toim.)



Työkaluja kaupunkien ilmasto- ohjelmien vaikutusten arviointeihin

**Johannes Lounasheimo, Ismo Hämäläinen, Ari Nissinen,
Jyri Seppälä (toim.)**



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 52 | 2019

Suomen ympäristökeskus

Kulutuksen ja tuotannon keskus

Toimittajat: Johannes Lounasheimo, Ismo Hämäläinen, Ari Nissinen, Jyri Seppälä

Kirjoittajat: Johannes Lounasheimo, Ismo Hämäläinen, Ari Nissinen, Jyri Seppälä, Janne Pesu, Jyrki Tenhunen, Ville Kokkonen, Niko Karvosenoja, Hannu Savolainen, Venla Riekkinen

Vastaava erikoistoimittaja: Jari Lyytimäki

Rahoittaja/toimeksiantaja: Ympäristöministeriö, Helsinki, Espoo, Vantaa, Tampere, Turku, Oulu, HSY

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Johannes Lounasheimo

Kannen kuva: Mika Seppälä

Julkaisu on saatavana veloituksetta internetistä: www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke
sekä ostettavissa painettuna SYKEN verkkokaupasta: syke.juvenesprint.fi

ISBN 978-952-11-5117-0 (nid.)

ISBN 978-952-11-5118-7 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

Julkaisuvuosi: 2019

Työkaluja kaupunkien ilmasto-ohjelmien vaikutusten arviointeihin

Useat kunnat, kaupungit ja alueet ovat sitoutuneet merkittävään kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen niin Suomessa kuin kansainvälisesti. Suomessa 80 prosentin päästövähennykseen vuoteen 2030 mennessä pyrkivien hiilineutraalien kuntien Hinku-verkosto kasvaa jatkuvasti. Myös lähes kaikki Suomen suurimmat kaupungit tavoittelevat päästövähennyksiä kansallisia ja Euroopan Unionin tavoitteita nopeammin. Ilmastomuutoksen hillintä on alettu nähdä myös mahdollisuutena kehittää kaupunkia, ja ilmastotoimet ovat valtavirtaistumassa osaksi kaupunkisuunnittelua.

Kaupunkien ilmasto-ohjelmat ovat hyvin laajoja ja kattavat valtavan suuren kirjon toimenpiteitä yli toimialarajojen, esimerkiksi Helsingin ilmasto-ohjelmassa on 147 toimenpidettä. Toimenpiteiden monipuolinen arviointi on tarpeen, koska pelkkien kasvihuonekaasujen huomiointi saattaa johtaa osamointiin. Vähintäänkin tulisi pyrkiä ymmärtämään toimenpiteiden terveys-, luonto- ja sosiaalisia vaikutuksia kuin myös suoria ja epäsuoria taloudellisia vaikutuksia. Nämä ovat monesti hyvin tärkeitä myös perusteltaessa toimenpiteitä päättäjille ja kansalaisille.

Tähän raporttiin on koottu tulokset KILTOVA-hankkeesta (Kaupunkien ilmastotoimenpiteiden vaikutusarviointityökalu – Esitutkimus). KILTOVAN tarkoituksena oli luoda tietopohja ja suunnitelma kaupunkien ilmasto-ohjelmien kokonaisvaltaisen, eri kohderyhmiä ja niiden tietotarpeita palvelevan vaikutusarviointityökalun laadintaan. Esitutkimuksen pohjalta mahdollisesti tehtävän työkalun käyttäjiä voivat olla esimerkiksi suunnittelijat ja muut virkamiehet, poliitikot, elinkeinoelämän toimijat tai kuntalaiset. Esitutkimuksessa käytiin läpi Helsingin, Espoon, Vantaan, Tampereen, Turun ja Oulun ilmasto-ohjelmat ja HSY:n ilmastotavoitteet. Niiden sisältämien toimenpiteiden vaikutusketjuja tunnistettiin. Esitutkimuksessa kartoitettiin laajasti olemassa olevia malleja sekä työkaluja ja analysoitiin niiden soveltuvuutta toimenpiteiden monipuoliseen arviointiin. Yli 200 erilaisen mallin ja työkalun käytettävyys sekä sovelluskohteet käytiin läpi.

Raportissa esitetään myös suunnitelma siitä millaisin jatkoaskelin voidaan päästä erilaiset vaikutukset kokoavan KILTOVA-työkalun käyttöönottoon lähitulevaisuudessa. Helppokäyttöisenä verkkopalveluna toteutettavan mallikirjaston ideana on tehdä arvioitavat vaikutusluokat, ja nyt jo käytävissä olevat mallit ja työkalut tutuiksi ilmastotoimenpiteiden suunnittelijoille. Nykyisessä muodossaan suuri osa malleista vaatii syvällistä asiantuntemusta, mikä tarkoittaa käytännössä kaupunkien ja asiantuntijaorganisaatioiden välistä yhteistyötä. Mukana on kuitenkin useita kuntien itsenäiseen käyttöön soveltuvia malleja, ja toisaalta monia malleja olisi mahdollista kehittää paremmin ilmastovaikutusten arviointiin soveltuviksi.

Mallikirjastoa kehittyneemmän vaihtoehdon, ns. hybridimallin mittaristo taas avaisi vaikutuksia kokonaisvaltaisemmin näkyväksi sekä suunnittelijoille, päättäjille että mahdollisesti suurelle yleisölle. Hybridimallissa voitaisiin käyttää hyväksi edelleen kehitettyjä malleja ja muun muassa niiden avautuvia rajapintoja. Ehdotuksemme on hanke, jossa kuuden kaupungin ja HSY:n yksittäisille, mutta edustaville pilottitoimenpiteille tehdään kokonaisvaltainen vaikutusarviointi, ja samalla kehitetään ja käytetään hybridityökalua pilottitoimenpiteiden erilaisten vaikutusten arviointiin. Lisäksi toteutettaisiin mallikirjasto eli verkkopalvelu.

Asiasanat: Kaupungit, ilmasto, ohjelmat, kasvihuonekaasut, päästöt, toimenpiteet, menetelmät, työkalut, mallinnus, mittarit, ympäristö, terveys, sosiaaliset vaikutukset, työllisyysvaikutukset, taloudelliset vaikutukset, kustannukset, hyöty

Verktyg för konsekvensbedömningar av städernas klimatprogram

Flera kommuner, städer och områden har förbundit sig till att göra en betydande sänkning av växthusgasutsläpp såväl i Finland som internationellt. Hinku-nätverket med klimatneutrala kommuner som strävar efter en utsläppsminskning på 80 % fram till 2030 växer ständigt. Också så gott som alla av de största städerna i Finland strävar efter att uppnå utsläppsminskningar i en snabbare takt än vad de nationella målen och Europeiska unionens mål anger. Dämpandet av klimatförändringen har också börjat betraktas som en möjlighet för att utveckla städerna och klimatåtgärder är på väg att bli en viktig del av stadsplaneringen.

Städernas klimatprogram är mycket omfattande och där ingår en brokig mångfald av åtgärder som överskrider gränserna mellan olika verksamhetsområden. Helsingfors klimatprogram innehåller till exempel 147 åtgärder. Det behövs en mångsidig bedömning av åtgärderna eftersom beaktande av enbart växthusgaser kan leda till deloptimering. Man måste i varje fall sträva efter att förstå åtgärdernas konsekvenser för hälsa och miljö samt de sociala konsekvenserna såväl som direkta och indirekta ekonomiska konsekvenser. Dessa är ofta mycket viktiga också när åtgärderna motiveras inför beslutsfattare och medborgare.

I den här rapporten finns resultaten från pilotprojektet KILTOVA samlade. Målet med KILTOVA var att skapa ett kunskapsunderlag och en plan för utarbetande av ett övergripande konsekvensbedömningsverktyg för städernas klimatprogram. Programmet skulle tjäna olika målgrupper och deras kunskapsbehov. Utgående från pilotstudien kan eventuella användare av verktyget till exempel utgöras av planerare och andra tjänstemän, politiker, aktörer inom näringslivet eller kommuninvånare. I pilotstudien gick man igenom Helsingfors, Esbos, Vandas, Tammerfors, Åbos och Uleåborgs klimatprogram samt HRM:s klimatmål. Konsekvenskedjorna för åtgärderna som ingick i programmen identifierades. Målet var att hitta metoder och verktyg för konsekvensbedömning av åtgärderna och tyngdpunkten i forskningen var att få en uppfattning om existerande modeller och verktygen samt att analysera deras lämplighet för en mångsidig konsekvensbedömning av åtgärderna. Användbarheten och användningsområdena för över 200 olika modeller blev genomgångna.

I rapporten presenteras också en plan om vilka fortsatta steg som kan tas för att inom en snar framtid kunna börja ta i bruk KILTOVA-verktyget där olika konsekvenser sammanförs. Tanken med ett modellbibliotek är att utarbeta konsekvensklasser som kan utvärderas och att delge planerna av klimatåtgärder de modeller och verktyg som redan är i bruk genom att presentera dessa i en lätthanterlig nättjänst. Största delen av modellerna kräver i sitt nuvarande format en djupgående sakkunskap, vilket i praktiken innebär samarbete mellan städer och expertorganisationer. Bland modellerna finns emellertid också flera modeller som lämpar sig för självständigt bruk inom kommunerna och många modeller skulle också kunna vidareutvecklas för att bättre passa bedömningen av klimatkonsekvenserna.

Mätverktygen för en mer utvecklad så kallad hybridmodell skulle återigen ge en mer övergripande bild av konsekvenserna för såväl planerare, beslutsfattare som eventuellt för den stora allmänheten. Inom hybridmodellen skulle man kunna dra nytta av de vidareutvecklade modellerna och bland annat deras gränssnitt. Vi föreslår ett projekt där en övergripande konsekvensbedömning görs för sex städer och HRM:s enskilda men representativa pilotåtgärder samtidigt som hybridverktyget för en konsekvensbedömning av pilotåtgärdernas olika konsekvenser utvecklas och används. Dessutom skulle modellbiblioteket, det vill säga nättjänsten, bli verklighet.

Nyckelord: Städer, klimat, program, växthusgaser, utsläpp, åtgärder, metoder, arbetsverktyg, modellering, mätare, miljö, hälsa, sociala effekter, sysselsättnings effekter, ekonomiska konsekvenser, kostnader, nytta

ABSTRACT

Tools for Impact Assessments of Cities' Climate Action Plans

Many municipalities, cities, and regions have committed to significant reductions in greenhouse gases both in Finland and internationally. In Finland the number of municipalities in the Carbon Neutral Municipalities network (HINKU), which aims at an 80 percent reduction in emissions by 2030, is growing constantly. Nearly all of Finland's larger cities are also hoping to achieve reductions in emissions more quickly than national or European Union targets require. Bringing climate change under control is also being seen as an opportunity for the development of cities, and climate goals are becoming part of the mainstream in urban planning.

The climate programmes of cities are very extensive, covering a wide array of measures across different fields of activity. For example, the Helsinki Climate Programme includes 147 measures to be taken. A versatile evaluation of the measures is needed, because taking greenhouse gases into consideration on its own can lead to partial optimisation. At the very least, there should be an effort to understand the health, nature, and social impacts as well as the direct and indirect economic effects. These are often very important also when justifying the measures to decision-makers and citizens.

The results of the KILTOVA preliminary study project have been compiled in this report. The purpose of KILTOVA is to create a knowledge base and plan for the comprehensive creation of a tool for evaluating the effectiveness of the climate programmes of cities to serve different target groups and their information needs. Users of a tool that might possibly be made based on the preliminary study might be planners and other civil servants, politicians, players in the business world, or residents. The preliminary study examines the climate programmes of Helsinki, Espoo, Vantaa, Tampere, Turku, and Oulu and the climate goals of the Helsinki Region Environmental Services Authority (HSY). The causal relationships of the measures they contain were identified. Methods and tools were sought for evaluating the impact of the measures and the focus in the study was to produce views of existing models and tools and an analysis of their applicability to the versatile evaluation of impact. The usability of more than 200 different kinds of models and application targets were examined.

The report also puts forward a plan on what kinds of further steps can be used for introducing the KILTOVA tool in the near future. The idea of a model library is to use and to familiarise planners of climate measures with the impact categories and the models and tools that are already available. In its present form a large portion of the models require profound expertise, and this means practical cooperation among cities and expert organisations. Also included are several models that are suited for independent use by municipalities, and it would also be possible to develop many models to be better suited for the assessment of climate impact.

The instrument cluster of the more developed so-called hybrid model made the effects more fully visible for both planners and decision-makers, and possibly for the public at large. The hybrid model would make it possible to take advantage of models that have been developed further and, among other things, the interfaces that emerge from them. Our proposal is a project in which a comprehensive impact assessment is made for visible but representative pilot measures of six cities and HSY, while at the same time developing and using hybrid tools for the evaluation of the impacts of various pilot measures. In addition, a model library, or on-line service would be carried out.

Keywords: Towns and cities, climate, programmes, greenhouse gases, emissions, measures, methods, tools, modelling, indicators, environment, health, social effects, effects on employment, economic effects, costs, benefit

ESIPUHE

Suomen kuusi suurinta kaupunkia päivittivät valtuustokaudelle 2017-2021 ilmastotavoitteensa ja tavoittelevat nyt hiilineutraaliutta vuosien 2029-2040 välillä. Tavoitetta seurataan kaupunkikohtaisesti kasvi-huonekaasupäästölaskelmien avulla. Kaupungit toteuttavat tavoitteitaan lukuisia toimenpiteitä sisältävillä ohjelmilla. Toimenpiteiden toteuttaminen tuo mukanaan päästövähennyksien ohella paljon muitakin hyötyjä, kuten parantunut ilmanlaatu, terveys ja kustannussäästöt. Toisaalta voi syntyä sosiaalista epäoikeudenmukaisuutta, erilaisia luontovaikutuksia ja kustannuksia uuden teknologian käyttöönoton myötä. Näistä muista vaikutuksista tarvitaan lisätietoa ja niiden arviointien yhdistämistä kaupunkien raportointijärjestelmiin.

Kuusi kaupunkia, Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY), ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus (SYKE) keskustelivat kaupunginjohtajien ilmastoverkoston kokouksessa syksyllä 2018 siitä, miten kaupunkien ilmasto-ohjelmille voisi tehdä vaikutusarviointeja myös muista asioista kuin kasvihuonekaasupäästöistä. Samalla olisi hyvä tarkentaa myös kasvihuonekaasupäästöjen arvioimista. SYKE teki lopulta ehdotuksen hankkeesta, jossa selvitettäisiin millaisia menetelmiä ja työkaluja erilaisen tärkeiden näkökohtien vaikutusarviointeihin löytyy, ja miten nämä mahdollisesti olisivat yhdistettävissä monipuolisen vaikutusarvioinnin työkaluksi.

Hanke alkoi marraskuussa 2018, ja sitä rahoittivat ympäristöministeriö, Espoon, Helsingin, Tampereen, Turun, Oulun ja Vantaan kaupungit sekä HSY ja SYKE. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Päivi Kippo-Edlund (Helsinki) ja sihteerinä Ari Nissinen (SYKE). Muita jäseniä olivat Olli-Pekka Pietiläinen ja Miia Berger (ympäristöministeriö), Tuija Stambej ja Leena Sjöblom (Espoo), Jari Viinanen (Helsinki), Maarit Talvitie ja Jonna Hakala (Oulu), Elisa Seppänen ja Emmi Nieminen (Tampere), Miika Meretoja ja Risto Veivo (Turku), Tina Kristiansson ja Ari Pietilä (Vantaa), Juha Viholainen ja Susan Lyytikäinen (HSY) sekä Johannes Lounasheimo (SYKE).

Ohjausryhmän kokouksia pidettiin neljä, ja kolmeen ensimmäiseen kokoukseen liittyi myös 2-3 tuntia kestänyt työpaja. Ohjausryhmän jäsenten ja raportin kirjoittajien lisäksi ohjausryhmän keskusteluihin ja työpajoihin ovat aktiivisesti osallistuneet mm. seuraavat henkilöt: Petteri Huuska ja Sonja-Maria Ignatius (Helsinki), Jouni Tuomisto (Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos, THL), Juha Yrjölä, ja Sampo Soimakallio (SYKE). Lisäksi SYKE:n Roosa Komokalliolle lämmin kiitos tilaisuuksien ja TIIMERI-työtilan järjestelyistä.

Kiitokset kaikille innostuneista ja kehittämiseen pyrkivistä keskusteluista ja muista palautteista.

Helsingissä 12. joulukuuta 2019,

Raportin kirjoittajat

SISÄLLYS

1 Johdanto - Kaupunkien ilmasto-ohjelmien monipuolista vaikutusarviointia tarvitaan ..	9
2 Kuutoskaupunkien ilmasto-ohjelmat	11
2.1 Espoo	11
2.2 Helsinki	12
2.3 Oulu	13
2.4 Tampere	13
2.5 Turku	14
2.6 Vantaa	15
2.7 Yleistä ohjelmista	15
3 Vaikutusketjujen tunnistaminen ja vaikutusten arvioinnin mahdollisuudet	17
3.1 Liikenne	18
3.2 Energiatehokkuus	26
3.3 Lämmitystapa	30
3.4 Rakennusmateriaalit	34
3.5 Ruoka	37
3.6 Muu kulutus	41
3.7 Materiaalitehokkuus	44
3.8 Jätteiden käsittely	48
3.9 Koulutus ja viestintä	50
4 Olemassa olevat arviointityökalut.....	53
4.1 Kasvihuonekaasujen päästöt	54
4.2 Terveysvaikutukset	84
4.3 Luontovaikutukset	92
4.4. Taloudelliset vaikutukset	106
4.5 Sosiaaliset vaikutukset	114
4.6. Systeemianalyttinen lähestymistapa	116
4.7 Muita vaikutustenarviointia tukevia työkaluja	117
5 Arviointityökalujen jatkokehittäminen.....	120
5.1. Kokonaisvaltaisen vaikutusarvioinnin työkalusta	120
5.2. Jatkotyön hahmottelua	123
6 Johtopäätökset - Kaupunkien ilmasto-ohjelmien vaikutusarviointityökalun kehittämisessä kannattaa edetä vaiheittain ja sovellusesimerkkien avulla.....	125
LIITE 1	135

1 Johdanto - Kaupunkien ilmasto-ohjelmien monipuolista vaikutusarviointia tarvitaan

Johannes Lounasheimo, Jyri Seppälä ja Ari Nissinen

Useat kunnat, kaupungit ja alueet ovat sitoutuneet merkittävään kasvihuonekaasupäästöjen (eli khk-päästöjen) vähentämiseen niin Suomessa kuin kansainvälisesti. Euroopan komission tukeman Covenant of Mayors -ilmastositoumuksen on allekirjoittanut jo 9 800 kuntaa ja kaupunkia. Sitoumuksen myötä vähintään EU:n tasoihin päästövähennyksiin tähtäävien kaupunkien yhteenlaskettu asukasluku on lähes 320 miljoonaa (CoM 2019). Suomessa 80 prosentin päästövähennykseen vuoteen 2030 mennessä pyrkivien hiilineutraalien kuntien Hinku-verkosto kasvaa jatkuvasti. Tällä hetkellä 63 Hinku-kunnassa asuu yhteensä yli 1,5 miljoonaa asukasta eli likimain joka neljäs suomalainen (Hinku 2019). Myös lähes kaikki Suomen suurimmat kaupungit tavoittelevat päästövähennyksiä kansallisia ja Euroopan Unionin tavoitteita nopeammin.

Kaupungeissa ilmastomuutos on alettu nähdä uhkakuvien sijaan myös mahdollisuutena, ja ilmastotoimet ovat valtavirtaistumassa osaksi kaupunkisuunnittelua. Suurten kaupunkien kohtaama väestöpaine edellyttää kaupungin toimintojen ja kaupunkirakenteen jatkuvaa uudistamista. Tässä yhteydessä ilmastomuutoksen ryhdikäs torjunta ja siihen sopeutuminen voivat synnyttää viihtyisää ja terveellistä, asukkaita osallistavaa ja kansainvälisesti houkuttelevaa kaupunkia. Vähäpäästöinen toimintaympäristö luo ja houkuttelee osaamista, joka edelleen lisää taloudellista toimeliaisuutta ja mahdollisuuksia toimia entistä vastuullisemmin. Tämä koskee sekä suuria kaupunkeja että myös pienempiä kaupunkeja.

Ilmastomuutoksen hillintätoimet voivat vaikuttaa yhteiskuntaan ja luontoon hyvin moninaisin tavoin. Hillintätoimien vaikutusketjujen tunnistaminen onkin tärkeää - mitä pitää tapahtua, jotta toimenpide todella toteutuu ja kuinka suurina ovat vaikutukset koko vaikutusketju huomioon ottaen. Esimerkiksi bussi- ja henkilöautoliikenteen sähköistyminen edellyttää autojen lataamisen tekemistä mahdolliseksi, eli merkittäviä panostuksia 'latausinfraan'.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja siitä aiheutuvat kustannukset ja taloudelliset hyödyt ovat keskeisiä mittareita, mutta päästöjä vähentävillä toimilla voi olla runsaasti muita myönteisiä, tai joskus kielteisiä, vaikutuksia. Päästövähennykset voivat olla myös epäsuoria, kohdistuen kulutettujen materiaalien ja tavaroiden tuotantoketjujen päästöihin ulkomailla. Tällöin kaupungin kulutusperäisesti lasketut päästöt ja hiilijalanjälki pienenevät. Toimenpiteiden ympäristövaikutusten arviointi voi kohdistua myös muihin ympäristövaikutuksiin kuten kaupungin vesistöjen rehevöitymiseen ja tuotteiden elinkaariin ympäristövaikutuksiin globaaleissa tuotantoketjuissa. Toimilla voi olla myös vaikutusta esimerkiksi kaupunkiseudun luonnon monimuotoisuuteen. Vaikutukset voivat kohdistua myös terveyteen ja hyvinvointiin muun muassa ilmanlaadun, melun, maiseman ja virkistysmahdollisuuksien kautta. Sosiaaliset vaikutukset voivat olla päätöksenteon kannalta oleellisia, samoin kuin työllisyysvaikutukset.

Ilmastomuutoksen hillintätoimet nähdään usein vain kuluerinä, myös edelläkävijäkunnissa, ja etenkin kun pyritään vähentämään päästöjä etujassa muuhun yhteiskuntaan nähden. Hillintätoimet voivat kuitenkin vaikuttaa aluetalouteen positiivisesti muun muassa työllisyyden kautta. Myös terveysvaikutukset voivat monissa tapauksissa näkyä rahallisina säästöinä. Tällaisissa tilanteissa ilmastomuutoksen hillinnän toimenpiteitä pystytään paremmin perustelemaan, jos myös muut oheishyödyt kuin kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset ymmärretään jo etukäteen. Lisäksi toimenpiteiden monipuolinen vaikutusten seuranta on välttämätöntä ilmastotyön avoimuuden ja tehtyjen toimenpiteiden riittävyyden sekä hyväksyttävyyden varmistamiseksi.

Kaupunkien ilmasto-ohjelmissa listataan usein suuri määrä toimenpiteitä, joiden vaikuttavuus, ajoittaminen ja keskinäinen toimeenpanojärjestys askarruttavat päätöksentekijöitä. Esimerkiksi Hiili-neutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma pitää sisällään 147 ilmastomuutoksen hillintätoimenpidettä (Helsinki 2018). Kaikkia ei voida aloittaa samaan aikaan. Toimenpiteiden priorisointi ja resurssien kohdentaminen edellyttävät toimenpiteiden seurausten arviointia. Tämän vuoksi entistä paremmalle

päästövähennysten laskennalle ja helppokäyttöisille kaupunkien ilmastotoimenpiteiden vaikutusarviointityökaluille on kysyntää.

Jokaiselle vaikutusarvioinnin lohkolle on kehitetty vuosien varrella lukuisia malleja ja työkaluja, mutta useiden mallien käyttö on jäänyt vähäiseksi ja tietosisällön päivitettävyydessä on ollut ongelmia. Monet laskentamallit ovat käytettävyydeltään varsin työläitä, eikä niitä ole räätälöity antamaan vastauksia nimenomaan ilmastotoimenpiteiden vaikutuksista. Toisistaan irralliset työkalut eivät tuo päätöksentekijälle samanaikaisesti näkyviin tietyn toimenpiteen monenlaisia välittömiä ja välillisiä vaikutuksia. Mallien ja työkalujen ominaisuuksia sekä laskentaperiaatteita voidaan kuitenkin kehittää ja yhdistellä niin, että saadaan aikaan sellainen 'työkalupakki' tai eri vaikutusluokat kokoava työkalu, jolla pystytään vastaamaan yhteiskunnan tarpeeseen monipuolisesta vaikutusarvioinnista.

Tähän raporttiin on koottu KILTOVA-esitutkimushankkeen tulokset. KILTOVA:n tarkoituksena oli luoda tietopohja ja suunnitelma kaupunkien ilmasto-ohjelmien kokonaisvaltaisen, eri kohderyhmiä ja niiden tietotarpeita palvelevan vaikutusarviointityökalun laadintaan. Esitutkimuksen pohjalta mahdollisesti tehtävän työkalun käyttäjiä voivat olla esimerkiksi suunnittelijat ja muut virkamiehet, poliitikot, elinkeinoelämän toimijat tai kuntalaiset.

Esitutkimuksessa käytiin läpi Helsingin, Espoon, Vantaan, Tampereen, Turun ja Oulun ilmasto-ohjelmat ja HSY:n ilmastotavoitteet. Niiden sisältämien toimenpiteiden vaikutusketjuja tunnistettiin (luku 3). Esitutkimuksessa kartoitettiin laajasti olemassa olevia malleja sekä työkaluja ja analysoitiin niiden soveltuvuutta toimenpiteiden monipuoliseen arviointiin. Noin 200 erilaisen mallin ja työkalun käytettävyyttä sekä sovelluskohteita käytiin läpi, ja keskeisimmät mallit on kuvattu luvussa 4. Luvussa 5 esitetään suunnitelma siitä millaisin jatkoaskelin voidaan päästä erilaiset vaikutukset kokoavan KILTOVA-työkalun käyttöönottoon lähitulevaisuudessa.

2 Kuutoskaupunkien ilmasto-ohjelmat

Jyrki Tenhunen, Ville Kokkonen

KUUTOSKAUPUNKIEN ILMASTO-OHJELMAT

Espoon ilmasto-ohjelma 2016–2020. Espoo. 10.6.2016.

Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma. Helsinki. 10.12.2018.

Ympäristöohjelma 2026 – kohti hiilineutraalia Oulua. Oulun kaupunki. 19.8.2019.

Kestävä Tampere 2030. Ohjelmasuunnitelma. Tampere. 26.11.2018.

Ilmastosuunnitelma 2029. Turku. 11.6.2018.

Resurssiviisauden tiekartta. Vantaa. 18.6.2018.

Kuutoskaupungeilla tarkoitetaan Suomen kuutta väkiluvultaan suurinta kaupunkia. Kuutoskaupungeissa asui vuonna 2018 lähes 1,8 miljoonaa ihmistä eli noin kolmannes suomalaisista.

2.1 Espoo

Espoon kaupunginvaltuuston hyväksymässä Espoon ilmasto-ohjelmassa 2016–2020 (Espoo 2016) asetettiin kaksi ilmastotavoitetta: saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä ja 60 prosentin asukas-kohtainen päästövähennys vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Tavoite on päivittynyt valtuustokaudelle 2017–2021 laaditussa Espoo-tarinassa (Espoon strategia), niin että Espoo tähtää hiilineutraaliuteen jo vuoteen 2030 mennessä.

Ilmasto-ohjelmassa 2016–2020 on kuusi osa-aluetta, joilla tavoitellaan kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä: 1) Parannetaan joukkoliikenteen palvelutasoa ja lisätään vähäpäästöistä liikkumista. 2) Tehdään Espoosta toimiva pyöräilykaupunki. 3) Vauhditetaan asuinrakennusten korjausrakentamista sekä lisä- ja täydennysrakentamista. 4) Edistetään uusiutuvien energianlähteiden käyttöönottoa. 5) Maankäytön suunnittelulla tuetaan vähäpäästöistä elämäntapaa. 6) Kaupunkiorganisaatio vähentää oman toimintansa ilmastovaikutuksia. Ohjelmassa määritellään yleisellä tasolla keskeiset toimenpiteet, joilla tavoitteeseen päästään kunkin osa-alueen osalta. Ohjelman liitteenä on konkreettisempi lista ensivaiheen ilmastotoimenpiteistä. Liitteen toimenpiteiden saaminen toimialojen talousarvioihin ja tulokortteihin arvioidaan vuosittain budjetikäsittelyssä.

Espoo-tarinaa toteuttavassa valtuustokauden 2017–2021 Kestävä Espoo -kehitysohjelmassa keskitytään löytämään uusia ratkaisuja, joilla tuetaan kaupungin hiilineutraaliustavoitteen saavuttamista. Kehitysohjelman painopisteet vuosille 2017–2021 ovat Espoon kehittäminen ja rakentaminen älykkäillä ratkaisuilla, liikkumisen sujuvoittaminen ja monipuolistaminen, päästötön energian tuotanto ja älykkäät

energiaratkaisut, espoolaisten vastuullinen toiminta, sekä lähiympäristön luontohyötyjen ja virkistäytymismahdollisuuksien kasvattaminen. Osa-alueittain asetetuille tavoitteille on laadittu myös mittarit.

Espoon kaupunginhallitus hyväksyi 14.10.2019 kaupunginjohtajien ilmastopöytäkirjan (Covenant of Mayors for Climate and Energy, CoM 2019) mukaisen Espoon kaupungin kestävä energian ja ilmastotoimintasuunnitelman (SECAP). Suunnitelmassa on arvioitu, millä toimenpiteillä Espoo pääsee hiilineutraaliustavoitteeseensa. Suunnitelman toimeenpanosta raportoidaan joka toinen vuosi CoM:n toimistoon EU:n SECAP-seurannan edellyttämällä tavalla.

2.2 Helsinki

Helsingin ilmastotavoitteet on esitetty kaupunkistrategiassa 2017–2021. Strategian mukaan Helsinki on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tähän päästään vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä 80 prosenttia. Jäljelle jäävä 20 prosenttia kompensoidaan siten, että Helsinki huolehtii päästövähennysten toteutumisesta muualla.

Helsingin ilmastotavoite kattaa kaupunkialueella syntyvät päästöt riippumatta siitä, mikä taho ne aiheuttaa. Ilmastotavoitteen toteutumista ja Helsingin päästökehitystä seurataan laskemalla, kuinka paljon päästöjä aiheutuu mm. rakennusten lämmityksestä, sähkön käytöstä, liikkumisesta ja jätteiden käsittelystä.

Päästölaskentaan eivät sisälly tuotteiden tai palveluiden koko elinkaaren aikaiset päästöt, elleivät ne synny kaupungin rajojen sisäpuolella. Päästölaskentaan kuuluvat Helen Oy:n keskitetyn energiantuotannon päästöt kaukolämmön kulutuksen kautta.

Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelmissa (Helsinki 2018) esitetään, mitä toimenpiteitä tarvitaan, jotta Helsingin ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa. Helsingin kaupunginhallitus hyväksyi toimenpideohjelman 10.12.2018. Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma keskittyy niihin päästövähennystoimenpiteisiin, joita kaupunkiorganisaatio voi omilla ohjauskeinoillaan tai omistajuudellaan edistää. Toimenpideohjelmissa esitetään myös toimet, joilla kaupunki edistää uudenlaisten palveluiden ja ratkaisujen syntymistä, jotta kaupunkilaiset ja yritykset voivat vähentää omia päästöjään. Ohjelmaan on kirjattu yhteensä 147 toimenpidettä. Liikenteessä toimenpiteitä on 30 kappaletta ja rakentamisessa 57 kappaletta. Muita toimenpiteitä on yhteensä 60 kappaletta ja ne kohdistuvat kulutukseen, hankintoihin, jakamis- ja kiertotalouteen, kaupunkilaisten hiilijalanjäljen pienentämiseen sekä 'Smart & Clean' -liiketoiminnan edistämiseen.

Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelman seuranta ja toimenpiteiden koordinoimista varten on julkaistu syksyllä 2019 avoimeen lähdekoodiin perustuva Helsingin ilmastovahti -palvelu (ilmastovahti.hel.fi). Ilmastovahdistä kuka tahansa pystyy seuraamaan, miten Helsingin päästöt ja ilmastotoimenpiteet etenevät. Jokaiselle toimenpiteelle on nimetty yksi tai useita yhteyshenkilöitä, jotka päivittävät toimenpiteen tiedot vähintään kolmen kuukauden välein. Jokaiselle toimenpiteelle määritellään myös etenemistä ja vaikutusta kuvaavat mittarit. Tarkoitus on avata kaikki toimenpiteiden vaikutusarvioinnit taustatietoineen ja laskentamalleineen. Ilmastovahdin kehitystyö jatkuu ja seuraavaksi parannetaan ennustemalleja ja vuorovaikutteisia ominaisuuksia.

Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelman toinen keskeinen seurantakanava on ympäristöraportointi. Ympäristöraportoinnin yhteydessä kaupunginvaltuustolle annetaan vuosittain kokonaiskuva toimenpideohjelman etenemisestä: miten Helsingin päästöt kehittyvät ja kuinka hyvin toimenpiteet ovat toteutuneet.

Jatkuvan ja vuosittaisen seurannan lisäksi valtuustokausittain tehdään laaja päivitys, jossa tarkastellaan uutta olennaista tutkimustietoa, arvioidaan toimenpiteiden onnistumista, vertaillaan tilannetta eri kaupunkien kesken ja kehitetään uusia toimenpiteitä varmistamaan ohjelman toteuttaminen.

VTT on Helsingin kaupungin toimeksiannosta arvioinut ohjelman elinkeinovaikutuksia. Arviointi perustuu VTT:n asiantuntijoiden arviointiin, sidosryhmien antamiin lausuntoihin ja yrityshaastatteluihin. Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelmissa on esitetty myös arviot keskeisten toimenpidekokonaisuuksien toteuttamiseen liittyvistä päästövähennyspotentiaaleista ja kustannustehokkuuksista.

2.3 Oulu

Oulun kaupunki on mukana kaupunginjohtajien energia- ja ilmastopöytäkirjassa (Covenant of Mayors for Climate and Energy, CoM 2019) ja tavoittelee sen mukaisesti vähintään 40 prosentin kasvihuonekaasupäästövähennystä vuoteen 2030 mennessä. Oulun kaupunki on laatinut SECAP-toimintasuunnitelman (Oulu 2018), joka hyväksyttiin kaupunginhallituksessa 18.12.2018.

Toimintasuunnitelmalla Oulu pyrkii luomaan edellytykset ilmastopöytäkirjan tavoitteiden saavuttamiseksi 2030 mennessä. Oulun kaupunki vähentää kasvihuonekaasupäästöjään 27 toimenpiteellä, jotka on jaettu SECAP-sektoreiden mukaisesti kaupungin rakennuksiin ja toimintoihin, palvelurakennuksiin, asuinrakennuksiin, katuvalaistukseen, liikenteeseen sekä jätehuoltoon. Lisäksi on esitetty energiantuotantoon ja uusiutuvan energian käytön lisäämiseen liittyviä toimenpiteitä. Muita tunnistettuja toimenpiteitä ovat muun muassa eheään yhdyskuntarakenteeseen ja toimintamallien muutoksiin tähtäävät toimenpiteet.

SECAP-toimenpiteet tähtäävät 55–60 prosentin päästövähennyksiin, sillä suunnitelmaa laadittaessa tiedostettiin, että CoM:n tavoite ei ole riittävä. Oulun ilmastotyötä keskeisesti ohjaava linjaus on keväällä 2018 kaupunkistrategiassa hyväksytty 'Hiilineutraali Oulu 2040'.

Oulun kaupunginhallitus hyväksyi 19.8.2019 kaupungin uuden ympäristöohjelman: 'Ympäristöohjelma 2026 – kohti hiilineutraalia Oulua' (Oulu 2019). Ympäristöohjelmalla varmistetaan kaupunkistrategiassa asetettujen linjausten ja ympäristötavoitteiden saavuttaminen.

Ympäristöohjelma 2026 kattaa koko kaupunkiorganisaation toiminnan, vahvistaa elinkeinoelämän kehittämismahdollisuuksia ja ohjaa kaupungin päätöksentekijöitä, henkilöstöä, asukkaita ja yrityksiä ympäristövastuulliseen toimintaan. Ohjelmassa on neljä painopistettä: kasvamme kestävästi, toimimme resurssiviisaasti, luonto on voimavaramme, ja edistämme ympäristövastuullisuutta. Jokaiselle painopisteelle on asetettu pitkän aikavälin tavoitteet ja niille toimenpiteet ja mittarit. Merkittävimmille ympäristöohjelman edellyttämille investoinneille ja ympäristöohjelma 2026 mittareille on arvioitu kustannukset, nimetty toteutusvastuutahot ja laadittu toteutusaikataulut.

Oulussa pääasiallinen lähde kasvihuonekaasupäästöjen tarkasteluun on CO2-raportti (Benviroc 2018).

2.4 Tampere

Tampereen kaupunginvaltuusto hyväksyi 18.6.2018 Tampereen ympäristöpolitiikan päivityksen 'Kestävä Tampere 2030 – kohti hiilineutraalia kaupunkia -linjaukset' (Tampere 2018a). Linjaukset perustuvat kaupunkistrategiaan, jonka mukaan Tampereen tavoitteena on kasvaa kestävästi ja olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteet ja toimenpiteet on koottu vuonna 2019 päivitettävään Kestävä Tampere 2030 -tiekarttaan. Kaupunki sai myös juuri valmiiksi Kestävän energian ja ilmaston toimintasuunnitelman (SECAP), jossa tehtiin arvioita visioitujen toimenpiteiden riittävydestä kaupunkistrategian suhteen.

Hiilineutraaliustavoitetta toteuttaa Kestävä Tampere 2030 -ohjelma (Tampere 2018b). Ohjelman tehtävä on tuottaa kevään 2020 aikana tavoitetta edistävät kaupunkiorganisaation konkreettiset toimenpiteet, joille on arvioitu päästö- ja kustannusvaikutuksia. Myös Tampereen Sähkölaitos on päivittänyt pitkän aikavälin suunnitelmansa vastaamaan uutta hiilineutraaliustavoitetta.

Kestävä Tampere 2030 -tiekartan osa-alueet ovat samat kuin SECAPissa eli Kestävä liikkuminen ja kaupunkirakenne, Kestävä asuminen ja rakentaminen, Energian kestävä kulutus ja tuotanto, Kestävä kulutus ja materiaalitalous, Kestävät hiilinielut. Keskeisiä päästövähennyskohteita ovat rakennusten lämmitys ja liikenne.

SECAPin mukaan tärkeimmät päästövähennyskokonaisuudet rakennusten lämmityksessä ovat Tampereen Sähkölaitoksen siirtyminen uusiutuvan energian käyttöön, energiatehokas ja vähähiilinen korjausrakentaminen sekä öljylämmityksestä luopuminen ja liikenteessä puolestaan raitiotieliikenteen kehittäminen, kävelyn ja pyöräilyn edistäminen, vähäpäästöiseen bussiliikenteeseen siirtyminen sekä

vaihtoehtojen käyttövoimien käyttöönotto. Ohjelman tiekartta tulee kokonaisuudessaan kattamaan lähes kaikki kaupungin toiminnot.

Tampereen kaupunki on mukana myös Kuutoskaupunkien kaupunginjohtajien ilmastoverkostossa, Eurocities ympäristöfoorumissa, ICLEI ja Smart Cities -verkostoissa, Climate Leadership Councilissa sekä Covenant of Mayors –sitoumuksessa (CoM 2019), johon liittyy SECAP-ilmastoraportointi. Tampereen kaupunki on liittynyt myös Suomen ympäristökeskuksen koordinoimaan Hinku-verkostoon.

2.5 Turku

Turun kaupunginvaltuusto on päättänyt kaupunkistrategiasta 16.4.2018. Kaupunkistrategian mukainen ilmastopolitiikan päätavoite on hiilineutraali kaupunkialue vuoteen 2029 mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi Turun alueen kasvihuonekaasupäästöjä pyritään vähentämään vähintään 80 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2029 mennessä. Tähän edetään seuraavien valtuustokausittain asetettujen välitavoitteiden kautta: 50 prosenttia vuoteen 2021 mennessä ja 65–70 prosenttia vuoteen 2025 mennessä. Viimeistään vuonna 2029 saavutetaan hiilineutraalius, jolloin jäljellä olevat päästöt kompensoidaan kokonaan. Vuodesta 2029 eteenpäin Turku pyrkii olemaan ilmastopositiivinen alue, jolloin alueen nettopäästöt ovat negatiiviset (eli kompensatio on suurempi kuin päästöt).

Kaupunginvaltuuston 11.6.2018 hyväksymässä Turun ilmastosuunnitelmassa 2029 (Turku 2018) ilmastotavoitteiden saavuttamisen pääkeinoiksi on nostettu kuusi toimenpidealuetta: 1. Saatettava energia- ja liikkumisjärjestelmien päästöt matalalle tasolle. 2. Saavutettava kestävä vähähiilinen yhdyskuntarakenne ja -kehitys. 3. Toteutettava kaupunkikonsernin oma ilmastovastuullisuus. 4. Mobilisoitava kansalaiset, yhteisöt, yritykset, sidosryhmät, kehyskumppanit ja korkeakoulut – koko kansalaisyhteiskunta mukaan luomaan ilmastotoimia ja toteuttamaan hiilineutraalia Turku. 5. Lisättävä hiilinieluja, uusiutuvan energian tuotantoa ja muita kompensatioita. 6. Lisättävä ymmärrystä ilmastomuutoksen riskeistä ja haavoittuvuuksista ja suunniteltava ja toteutettava toimenpiteitä muutokseen varautumiseksi.

Turun kaupungin ilmastosuunnitelma 2029 on valmisteltu Euroopan Unionin yhteisen mallin (Sustainable Energy and Climate Action Plan, SECAP, Euroopan komissio (Bertoldi 2018) mukaisesti. Ilmastosuunnitelman tavoitteita arvioidaan ja tarkistetaan perusteellisesti valtuustokausittain. Seuranta toteutetaan vuosittain strategian seurannan yhteydessä. Suunnitelman toimeenpanosta raportoidaan joka toinen vuosi EU:n SECAP-seurannan edellyttämällä tavalla.

Turun alueen kasvihuonepäästöjen laskenta suoritetaan vuosittain lähtökohtaisesti CO₂-raportin menetelmällä (Benviroc 2018), ja tulokset raportoidaan Euroopan Unionille SECAP-vaatimusten mukaisesti. Turun merkittävimmät päästöt aiheuttavat sektorit ovat kaukolämpö, sähkönkulutus ja tieliikenne.

Hillintätoimenpiteet kohdistetaan päästöjakaumien perusteella mahdollisimman vaikuttavasti. Toimenpiteillä pyritään vähentämään päästöjä tehokkaasti ja kestävästi (ottaen huomioon suora päästövaikutus, välillinen päästövaikutus ja esimerkki/pilottivaikutus). Hillintätoimenpiteiden merkittävimmät kokonaisuudet ovat: hiilineutraali energiajärjestelmä, vähähiilinen kestävä liikkuminen, kestävä kaupunkirakenne, kaupunkikonsernin ilmastovastuu, ja hiilinielujen vahvistaminen.

Turku arvioi toimenpiteiden vaikuttavuutta SECAP-toimenpidekortteilla. Vaikutusten arviointi tehdään vastaamalla kysymyksiin: miten toimenpide vaikuttaa, kuinka merkittävä vaikutus sillä on, ja mikä on seurannan indikaattori. Arviointi edellä mainittuihin kysymyksiin tehdään seuraavissa luokissa: suora päästövaikutus, välillinen päästövaikutus, esimerkki/pilottivaikutus, kaupungin vastuullisuus, konsernin vastuullisuus, innovaatio/elinkeinovaikutus, ja osallistumisvaikutus. SECAP-korttimallit on tehty palvelemaan sekä kaupungin omaa organisaatiota että konserniyhteisöjä ja muita toimijoita. Tavoitteena on aktivoida kansalaiset, yhteisöt, yritykset ja korkeakoulut mukaan luomaan ilmastotoimia ja toteuttamaan hiilineutraalia Turku. SECAP-kortti on lyhyt, käyttäjäystävällinen ja ohjaava tapa luoda ilmastotoimia ja tuoda niitä osaksi hiilineutraalin Turun toteuttamista yhdessä. Kortteja oli 24.5.2018 mennessä laadittu 25 koskien kaupungin ja konserniyhteisöjen toimenpiteitä. Toimenpideohjelma on rakennettu jous-tavaksi, ja toimenpiteiden lukumäärä on pieni, mutta ne kattavat paljon kaupungin toiminnasta.

Toimenpideohjelma on myös suunniteltu siten, että se mukautuu jatkuvasti ympäristön, ilmastovaikutusten ja yleisemmin kaupungin kannalta parempaan suuntaan.

SECAP-korteilla esitetyt toimenpiteet kattavat yli kaksi kolmasosaa Turun alueen kasvihuonepäästöistä.

2.6 Vantaa

Vantaan kaupunginvaltuuston 11.12.2017 hyväksymässä strategiassa yhdeksi strategiseksi painopistealueeksi on asetettu kaupungin tiivistäminen lähiluontoa vaalien, ja yhdeksi tavoitteeksi on asetettu nykyisen kaupunkirakenteen vahvistaminen resurssiviisaasti. Näitä tavoitteita edistetään Vantaalla resurssiviisauden tiekartalla, joka ohjaa kaupungin kehitystä kohti päästötöntä, jätteetöntä ja luonnonvaroja kestävästi käyttävää kaupunkia, jossa ei ylikuluteta.

Vantaan on sitoutunut olemaan hiilineutraali kaupunki vuoteen 2030 mennessä. Tämä tarkoittaa, että Vantaan tulee vähentää kasvihuonekaasupäästöjään 80 prosenttia vuoden 1990 päästöihin verrattuna ja kompensoida jäljelle jäävät päästöt esimerkiksi rahoittamalla vähähiilisyyteen tähtääviä hankkeita muualla. Jätteettömässä kaupungissa ei synny kaatopaikkajätettä, vaan jätteet kierrätetään. Ylikulutusta välttävissä kaupungissa luonnonvaroja käytetään maapallon kantokyvyn rajoissa.

Vantaan kaupungin resurssiviisauden tiekartassa (Vantaa 2019) on esitetty toimenpiteitä neljällä kaistalla, joiden tavoitteet ja toimenpiteet tukevat toisiaan. Kaistat ovat energiankulutus ja -tuotanto, yhdyskuntarakenne ja liikkuminen, kulutus ja materiaalit, sekä vastuullinen vantaalainen. Lisäksi hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi esitetään tytäryhtiöiden ja muiden sidosryhmien toimia. Kaistojen toimenpiteet on jaksotettu valtuustokausittain, ja kausittaisten toimenpiteiden avulla kuljetaan askel askeleelta kohti tiekartassa määriteltyä tavoitetilaa vuonna 2030. Vastuutahot ehdotettujen tavoitteiden ja toimenpiteiden toteuttajiksi on kirjattu näkyviin.

Vantaan resurssiviisauden tiekartan toimenpiteiden toteutumista tukevat kaupungin toimialojen toteutussuunnitelmat, joihin on kirjattu tarkemmat toimenpiteet ja vastuutahot. Toteutussuunnitelmia seurataan toimialoilla vuosittain, jolloin ne myös päivitetään. Toimialojen toteutussuunnitelmista laaditaan vuosittain yhteenveto kaupungin Ympäristövastuuraporttiin, johon kootaan myös ekologisen kestävyysindikaattorit sekä hyviä käytäntöjä. Seurantaa ja raportointia kehitetään vaikuttavuuden arvioinnin parantamiseksi ja jatkuvamman seurannan mahdollistamiseksi.

Tiekartan tavoitteiden toteutumista kokonaisuudessaan seurataan kahden vuoden välein eli kahdesti valtuustokaudessa. Samassa yhteydessä tiekartta päivitetään.

Vantaan resurssiviisauden tiekartta on yksi kaupungin strategiaa ohjaavista ohjelmista. Strategian toteutumisen tukemiseksi on kaupungissa linjattu poikkeuksellisesti johdettuja teemoja, joilla tehostetaan strategian toteutumista ja seurantaa. Resurssiviisauden tiekartan toteuttamisen kannalta keskeinen strategiatematyö, Hiilineutraali Vantaa 2030, käynnistyy vuoden 2020 alussa.

2.7 Yleistä ohjelmista

Kaikki tämän selvityksen kaupungit ovat mukana kaupunginjohtajien energia- ja ilmastopöytäkirjassa (Covenant of Mayors for Climate and Energy, CoM 2019) ja ovat sitoutuneet ottamaan käyttöön kokonaisvaltaisen lähestymistavan ilmastonmuutoksen hillitsemisessä ja siihen varautumisessa. Kaupunkien itselleen asettamat tavoitteet ovat kuitenkin selvästi kunnianhimoisemmat kuin mitä Covenant of Mayors for Climate and Energy -sopimuksessa vaaditaan. Kaupungit pyrkivät hiilineutraaliuteen joko vuoteen 2029, 2030, 2035 tai 2040 mennessä. Hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi laaditut ilmasto-ohjelmat ovat varsin laajoja ja perusteellisia kuvauksia kaupunkien suunnittelemissa toimenpiteistä. Monissa ohjelmissa esitetään ilmastovaikutusten lisäksi tavoitteita ja toimia myös asukkaiden viihtyvyyden ja hyvinvoinnin lisäämiseksi. Osa kaupungeista on hyödyntänyt Kaupunginjohtajien energia- ja ilmastopöytäkirjaan mukaista kestävästi energiankäytön ja ilmaston SECAP-toimintasuunnitelmaa.

Ilmasto-ohjelmien lähtökohtana on kunnassa syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen syntyminen eri sektoreilta. Esitetyt toimenpiteet painottuvat osin tämän mukaisesti kyseisille sektoreille, mutta painotuksia määrittää myös se mihin kunta pystyy vaikuttamaan. Toimenpiteiden vaikutukset arvioidaan tietysti aina kasvihuonekaasupäästöjen osalta. Sen lisäksi tärkeässä roolissa on myös toimien kustannustehokkuus. Toimenpiteitä tarkastellaan jossain määrin myös niiden elinkeinovaikutusten kannalta. Muita vaikutuksia, kuten esimerkiksi terveys-, luonto- ja sosiaalisia vaikutuksia ei ole yleensä käsitelty.

3 Vaikutusketjujen tunnistaminen ja vaikutusten arvioinnin mahdollisuudet

Johannes Lounasheimo, Ville Kokkonen, Janne Pesu, Jyrki Tenhunen, Ismo Hämäläinen, Venla Riekkinen

Ilmastomuutoksen hillintätoimien aiheuttamat muutokset esimerkiksi energiantuotannossa, hyödykkeiden kuluttamisessa tai liikkumisen tavoissa ja rakenteissa voivat tuoda oheishyötyjä tai -haittoja vaikuttamalla esimerkiksi ilmanlaatuun tai asuinalueiden viihtyisyyteen, ja sitä kautta ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin. Toimenpiteiden vaatimien investointien ohella niiden tuottamaa taloudellista hyötyä voidaan arvioida. Lähes kaikilla toimilla on lisäksi sosiaalisia vaikutuksia sekä vaikutuksia esimerkiksi luonnon monimuotoisuuteen tai vesistöihin.

Toimenpiteen toteuttamisesta konkreettiseen päästövähennykseen johtava ketju on usein pitkä ja monihaarainen. Vaikutusketjuista muodostuukin helposti verkkoja, joiden jokaisessa solmukohdassa voidaan mitata siinä kohtaa toteutuneita seurauksia eri vaikutusluokissa. Tuloksellisen vaikutusten arvioinnin edellytys on toimenpiteiden selkeä luokittelu sekä systematiikka ja sopivat rajaukset vaikutusketjujen tunnistamisessa. Tällä tavoin voidaan valita soveltuvat, olemassa olevat laskentamallit tai tunnistaa mallien kehitystarpeet.

Tässä luvussa arvioidaan ilmastoimien vaikutusketjuja kaupunkien ilmasto-ohjelmien toimenpiteiden mukaisesti luokiteltuna. Kultakin toimenpidesektorilta on lisäksi nostettu yksi esimerkki tarkempaan tarkasteluun. Vaikutuksia kuvataan sektoreittain, ja seuraavissa vaikutusluokissa:

- Kasvihuonekaasujen päästövähennykseen johtava vaikutusketju
 - Vaikutus voi näkyä kuntien käyttöperusteisen khk-päästöjen vuosiseurannan tuloksissa ja/tai
 - Kulutusperusteisessa, elinkaarinäkökulmasta lasketussa hiilijalanjäljessä kunnan rajojen ulkopuolella.
- Vaikutukset terveyteen ja hyvinvointiin
 - Ilmanlaatu, melu, maisema, liikkuminen, virkistysalueet
- Vaikutukset luontoon ja ekosysteemipalveluihin
 - Luonnon monimuotoisuus
 - Vesistövaikutukset, rehevöityminen
 - Haitalliset aineet
 - Muiden kuin khk-päästöjen luontovaikutukset
- Taloudelliset vaikutukset
 - Kustannukset ja hyödyt
 - Työllisyys
 - Uudet liiketoimintamahdollisuudet
- Sosiaaliset vaikutukset
 - Tasa-arvo/vaikutukset eri väestöryhmiin, työllisyyteen, ihmisille aiheutuviin kustannuksiin
 - Elinolot ja viihtyvyys
 - Koettu terveys/elämänlaatu
 - Osallisuus ja oikeudenmukaisuus.

Sosiaaliset vaikutukset ovat usein päällekkäisiä terveys-, ympäristö- ja talousvaikutusten kanssa. Lisäksi ne elävät voimakkaasti, koska eri osapuolet tarkastelevat tilanteita, tietoja, suunnitelmia ja käyttäytymistään uudelleen tapahtumien ja prosessien edetessä.

Toimenpiteiden vaikutukset voivat olla myönteisiä tai kielteisiä, välittömiä tai välillisiä ja niillä voi olla vaikutusta paikallisesti, alueellisesti, valtakunnallisesti tai kansainvälisesti.

Kunkin toimenpidesektorin ja vaikutusluokan kohdalla esitellään lyhyesti ilmastotoimien vaikutusketjujen tarkasteluun soveltuvia työkaluja ja laskentamalleja. Mallien tarkemmat kuvaukset löytyvät raportin luvusta 4. Maa- ja metsätalouden malleja kuvataan myös luvussa 4, mutta kyseisiin toimialoihin liittyviä toimenpiteitä ei kaupunkien ilmasto-ohjelmissa juuri ole, joten niiden vaikutusketjuja ei ole analysoitu tässä luvussa.

3.1 Liikenne

Ensimmäisenä sektorina tarkastellaan liikennettä. Liikenteeseen liittyvät päästövähennystoimet liittyvät pääsääntöisesti siihen miten diesel- ja bensiinikäyttöisten ajoneuvojen käyttöä ja polttoaineen kulutusta voidaan vähentää. Kuntien ilmasto-ohjelmissa keskitytään tieliikenteen päästöihin. Helsingin ohjelmassa on käsitelty lisäksi satamapäästöjen vähentämistä. Lentoliikenne ei yleensä ole mukana kuntien kasvihuonekaasupäästöjen vuosiseurannassa eikä siihen liittyviä toimia ole ilmasto-ohjelmissa tunnistettu.

Liikenteen fossiilisten polttoaineiden käyttöä vähentävät ilmastotoimet voidaan jakaa karkeasti liikennejärjestelmään ja ajoneuvoteknologiaan liittyviin toimenpiteisiin. Liikennejärjestelmällä tarkoitetaan sitä, miten julkinen ja yksityinen liikenne ja niihin liittyvä maankäyttö on kunnassa tai alueella järjestetty, ja miten ihmiset liikkuvat. Keskeisiä liikennejärjestelmän energiatehokkuuteen ja kasvihuonekaasupäästöihin liittyviä mittareita ovat kulkutapajakauma ja liikennesuoritteet. Toimet voivat liittyä esimerkiksi:

- Kaavoitukseen; liikenteen ja maankäytön yhteensovittaminen sekä toimivan yhdyskuntarakenteen suunnitteleminen ja sitä kautta liikkumistarpeeseen vaikuttaminen
- Infran rakentamiseen; raideliikenne, uudet tiet (esim. kaupunkibulevardit), kevyen liikenteen väylät
- Joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen palvelutasoon
- Liikenteen hinnoitteluun
- Logistiikan järjestämiseen
- Informaatio-ohjaukseen.

Ajoneuvoteknologialla viitataan puolestaan siihen minkälaisilla kulkuneuvoilla tieliikenteessä (ja vesiliikenteessä) liikutaan:

- Autojen käyttövoimat ja ajoneuvokannan uusiminen tai muuntaminen
 - Sähkö-, kaasu- ja etanoliautot sekä hybridit
 - Lataus- ja tankkausinfra
 - Ajoneuvojen energiatehokkuus/polttoaineen kulutus
 - Biopolttoaineiden sekoiteosuuden lisääminen
- Työkoneiden käyttövoimat ja energiatehokkuus (teollisuus, rakentaminen, tienpito, maa- ja metsätalous)
- Laivapäästöjen osalta polttoainevalinnat ja maasähkön käyttö satamassaoloaikana.

3.1.1 Liikennejärjestelmä

3.1.1.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Liikennejärjestelmätoimilla pyritään yleensä kestävien kulkumuotojen (joukkoliikenteen, kävelyn ja pyöräilyn) osuuden kasvattamiseen ja erityisesti henkilöautojen liikennesuoritteen vähentämiseen, mikä vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä. Logistiikan optimoinnilla voidaan vähentää tavaraliikenteen ajosuoritteita. Mikäli tarkastellaan elinkaarisia päästöjä ja/tai kaupungin hiilijalanjälkeä, tulee myös infrarakentamisen päästöt ottaa huomioon.

Mallit ja työkalut:

- LIPASTO/LIISA (VTT)
 - Päästöt ja liikennemäärät ajoneuvotyypeittäin ja kunnittain
 - Liikennevälineiden yksikköpäästöt
- IVAR3 (Väylävirasto)
 - Liikennejärjestelmän suunnittelu
 - Tiehankkeiden matka-aika-, onnettomuus-, ajoneuvo-, päästö- ja meluvaikutuksia sekä kustannukset
- ENVIMAT (SYKE)
 - Infrarakentamisen khk-päästöt ja luonnonvarojen kulutus
 - Henkilöliikenteen elinkaariset khk-päästöt
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset khk-päästöt
- EMME (INRO)
 - Matkamäärien, matkojen suuntautumisen ja kulkutapojen mallinnus
 - Liikennejärjestelmän kehittämisen vaikutukset joukkoliikenteen palvelutasoon ja tavoitettavuuteen
- HELMET 3.0 (HSL)
 - Helsingin seudun henkilöliikennemalli
 - Liikenne-ennusteet
- HESY (HSL)
 - Helsingin seudun yksilömallit
 - Joukkoliikenteen linjastosuunnitelmat, väylämuutokset, liikenteen hinnoittelu
 - Henkilöauton omistus, auton käyttömahdollisuus, matkatuotokset, matkojen suuntautuminen ja kulkutavan valinta
- Ilmastodieetti (SYKE)
 - Yksityishenkilön hiilijalanjälki
- SYKEN yhdyskuntarakenteen vyöhykemalli ja päästölaskenta
 - Liikkumismuotojen käytön mahdollisuudet alueella.

3.1.1.2 Terveysvaikutukset

Liikkumisen tavat ja liikennemäärät vaikuttavat ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin ilmanlaadun, melun, ihmisten fyysisen aktiivisuuden ja liikenneonnettomuuksien kautta. Pakokaasupäästöt ja katupöly altistavat muun muassa sydän- ja hengityselinsairauksille, ja melu aiheuttaa kiusaantuneisuutta, unihäiriötä ja altistaa sydänsairauksille. Psykososiaalisia vaikutuksia aiheuttavat esimerkiksi esteellisyys ja lasten liikkumismahdollisuudet. Liikennejärjestelmätoimet voivat vaikuttaa myös asuinalueiden viihtyisyyteen sekä virkistys- ja viheralueiden määrään, millä on sekä henkisiä että fyysisiä terveysvaikutuksia. (HSL 2016a)

Kaupunkien liikkumiseen kohdistuvilla ilmastotoimenpiteillä on pääsääntöisesti positiivisia vaikutuksia terveyteen ja hyvinvointiin. Kävelyn ja pyöräilyn osuuden kasvattaminen lisää liikunnan määrää, mutta voi toisaalta altistaa ilmansaasteille. Tieliikenteen liikennemäärien ja ruuhkaisuuden väheneminen parantavat ilmanlaatua, vähentävät meluhaittoja ja lisäävät liikenteen sujuvuutta. Terveysvaikutuksille voidaan mitata myös taloudellisia hyötyjä.

Mallit ja työkalut:

- HEAT (WHO)
 - Kävelyn ja pyöräilyn lisääntymisen terveyshyödyt ja hyöty-kustannuslaskelmat
- IHKU (SYKE)
 - Ilmansaastepäästöjen terveyshaittakustannukset
- FRES (SYKE)
 - Ilmansaasteiden ja khk-päästöjen sekä pienhiukkasten leviämisen ja ilmanlaatuvaikutusten alueellinen skenaariomallinnus
- ENFUSER (Ilmatieteen laitos)
 - Ilmanlaadun tarkat spatiaaliset ja ajalliset tarkastelut ja ennusteet
- CNOSSOS (EU)
 - Tie-, raide- ja ilmaliikenteen sekä teollisuuden melumallinnus
- IVAR3 ja TARVA (Väylävirasto)
 - Liikenneturvallisuuden tarkastelut ja kustannusarviot
- NORTRIP (NILU, Norwegian institute for air research) ja FORE (Ilmatieteenlaitos)
 - Katupölyn mallinnus ja vaikutukset ilmanlaatuun
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset pienhiukkasten päästöihin, ylä- ja alailmakehän otsonin muodostumiseen, ja toksisuusvaikutukset ihmiseen.

3.1.1.3 Luontovaikutukset

Mikäli yhdyskuntarakennetta tiivistetään ja liikkumisen painopiste siirtyy kestäviin kulkumuotoihin, voi tarve uusien, suurten väylien rakentamiselle pienentyä. Maankäytön muutospainheet vähenevät ja enemmän luontoalueita säilyy koskemattomana, mikä on luonnon monimuotoisuuden (eli biodiversiteetin) kannalta tärkeää. Myös ilmansaastepäästöjen vähenemisellä on myönteinen vaikutus biodiversiteettiin, kasvillisuuden elinvoimaisuuteen ja vesistöjen tilaan. Liikennemäärien mahdollinen väheneminen pienentää myös öljyvuotojen ja muiden onnettomuuksien kautta tapahtuvaa maaperän ja vesien likaantumista.

Mallit ja työkalut:

- KEKO (SYKE)
 - Maankäytön muutosten vaikutukset päästöihin, luontoon ja luonnonvarojen käyttöön
- Zonation (Helsingin yliopisto)
 - Maankäytön muutokset ja ekosysteemipalveluiden tarkastelut
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset happamoitumiseen, rehevöitymiseen, ekotoksisuuteen ja luonnon monimuotoisuuteen
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset materiaalityrät ja ympäristövaikutukset (mm. happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja savusumu)

- KUSTAA, VEMALA, INCA, RUSLE2015
 - Vesistövaikutukset
- FRES (SYKE)
 - Happamoittavat ja rehevöittävät laskeumat
- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus
- Ilmastodieetti (SYKE)
 - Terveyskyödyt korvattaessa autoilua pyöräilyllä.

3.1.1.4 Taloudelliset vaikutukset

Ilmastonmuutoksen hillintätoimet vaativat usein mittavia investointeja esimerkiksi julkisen liikenteen kehittämiseen. Toisaalta joitakin infrastruktuurin kehittämishankkeita (eli infrahankkeita), esim. uusia ajokaistoja, voidaan välttää ja saavuttaa sitä kautta säästöjä. Hyvinvoinnin mahdollisen lisääntymisen seurauksena sairauspoissaolot vähenevät, millä on merkittävät positiiviset taloudelliset vaikutukset. Myös autoliikenteen hinnoittelulla voidaan saavuttaa suoria kustannushyötyjä. Sujuvampi liikenne ja pienemmät ruuhkat tuovat aikasäästöjä, joille voidaan niin ikään laskea hinta. Joukkoliikenteen volyymin kasvaessa alalle syntyy uusia työpaikkoja, ja liikenteen uudet palvelut luovat liiketoimintamahdollisuuksia.

Mallit ja työkalut:

- IVAR3 (Väylävirasto)
 - Liikennejärjestelmän suunnittelu
 - Tiehankkeiden matka-aika-, onnettomuus-, ajoneuvo-, päästö- ja meluvaikutuksia sekä kustannukset
- ENVIREGIO (SYKE)
 - Investointien aluetaloudelliset vaikutukset
- SISU (Tilastokeskus)
 - Autoverotuksen taloudelliset vaikutukset (AVERO-moduuli)
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun valintojen vaikutukset arvonlisäykseen
- IHKU (SYKE)
 - Ilmansaastepäästöjen terveyshaittakustannukset
- HEAT (WHO)
 - Kävelyn ja pyöräilyn yhteiskuntataloudelliset hyödyt
- KEKO (SYKE)
 - Maankäytön muutoksista aiheutuvat luonnonvarojen käytön taloudelliset vaikutukset.

3.1.1.5 Sosiaaliset vaikutukset

Kestävä liikennejärjestelmä lisää liikkumisen tasa-arvoa, kun edullisilla kulkumuodoilla voidaan saavuttaa nopeasti ja kattavasti arkiliikkukselle keskeiset kohteet. Joukkoliikenteen, kävelyn ja pyöräilyn suosion kasvu ja laadukas palvelutarjonta parantavat elämänlaatua ja lisäävät osallisuuden kokemusta. Liikennejärjestelmän ja maankäytön suunnittelu voi lisätä tai vähentää oikeudenmukaisuutta ja sen tunnetta riippuen siitä, miten suunnitteluprosessi ja siihen liittyvä kansalaisten osallistuminen on toteutettu.

Mallit ja työkalut:

- EMME (INRO)
 - Matkamäärien, matkojen suuntautumisen ja kulkutapojen mallinnus

- Liikennejärjestelmän kehittämisen vaikutukset joukkoliikenteen palvelutason, tavoitettavuuteen ja autottomien ihmisryhmien liikkumismahdollisuuksiin
- Ilmastodieetti (SYKE), Itämerilaskuri (SYKE), Materiaalijalanjälkilaskuri (Lahden ammattikorkeakoulu)
 - Kuluttajätietoisuuden lisääminen.

Toimenpide-esimerkki / Liikennejärjestelmä

”Liikenteen solmukohtien palveluntarjontaa ja vaihtojen sujuvuutta parannetaan.” (Helsinki 2018).

Toimenpide sisältää muun muassa HSL:n Solmu-projektin yhteydessä laaditun toimenpideohjelman toteutuksen, opastetaulujen ja älypuhelinsovellusten lisäämisen matkaketjujen sujuvoittamiseksi sekä liityntäpysäköinnin toimenpideohjelman toteutuksen.

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Toimenpiteen toteutuksen kustannukset
- Infran rakentamisen ympäristövaikutukset
- + Julkisen liikenteen houkuttelevuus kasvaa ja käyttöaste paranee
- + Matka-ajat lyhenevät
- + Henkilöautoilu vähenee
- + Liikenteen khk-päästöt vähenevät
- + Ilmanlaatu paranee
- + Meluhaitat vähenevät
- + Liiketoimintamahdollisuuksia palveluntarjoajille, sovelluskehittäjille ja laitevalmistajille
- + Tasa-arvoisemmat mahdollisuudet sujuvaan ja edulliseen liikkumiseen eri väestöryhmillä.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

3.1.2 Ajoneuvoteknologia

3.1.2.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Fossiilisten polttoaineiden käytön väheneminen ajoneuvojen energialähteenä vähentää suoraviivaisesti myös fossiilisia kasvihuonekaasupäästöjä. Biokaasu, bioetanoli ja biodiesel ovat hiilidioksidin osalta laskennallisesti nollapäästöisiä. Niillä voi kuitenkin olla merkittäviäkin vaikutuksia päästöihin maankäytön muutosten ja hiilinielujen pienenemisen kautta. Myös sähköautot ovat liikennesektorilla nollapäästöisiä. Sähköautojen osalta päästöt näkyvät khk-päästölaskennoissa energiasektorilla. Sähköntuotannon ollessa vähäpäästöistä, esim. tuuli-, aurinko-, vesi- tai ydinvoimaa, sähköautoja käyttämällä saavutetaan lähes päästöttömiä ajokilometrejä. Lisäksi ajoneuvojen kehittyminen entistä energiatehokkaammiksi vähentää energiankulutusta ja siten suoraan khk-päästöjä käyttövoimasta riippumatta. Toisaalta energiankulutus riippuu myös auton koosta ja painosta.

Mikäli tarkastellaan elinkaarisia päästöjä ja/tai kaupungin hiilijalanjälkeä, tulee ajoneuvojen ja polttoaineiden valmistamisen päästöt ottaa huomioon.

Mallit ja työkalut:

- LIPASTO/LIISA (VTT)
 - Päästöt ja liikennemäärät ajoneuvotyypeittäin ja kunnittain
 - Valtakunnalliset vastaavat tiedot käyttövoimittain
 - Liikennevälineiden yksikköpäästöt
 - Myös raide-, vesi- ja ilмалиikenne sekä työkoneet
 - ALIISA-mallissa arviot autokannasta ja sen kehittymisestä
- SYKE:n kuntien käyttöperusteinen khk-päästöjen laskenta
 - Sähkönkulutuksen päästöt
 - Myös Tilastokeskuksen energiatilaston, Energiateollisuus ry:n ja Energiaviraston tiedoista käy ilmi sähköntuotannon ja/tai sähkönkulutuksen päästöt
- ENVIMAT (SYKE)
 - Henkilöliikenteen elinkaariset khk-päästöt mukaan lukien ajoneuvojen valmistus
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset khk-päästöt
- Ilmastodieetti (SYKE)
 - Yksityishenkilön hiilijalanjäljessä on mukana autolla ajon ja auton valmistuksen khk-päästöt.

3.1.2.2 Terveysvaikutukset

Henkilöautoliikenteen teknologian kehittyessä niiden pakokaasupäästöt vähenevät. Sähköautot ovat pääsääntöisesti myös polttomoottoriautoja hiljaisempia. Erityisesti raskas liikenne on liikenteessä merkittävä ilmapäästöjen lähde, ja esimerkiksi logistiikan ja joukkoliikenteen sähköistämällä voidaan saada merkittäviä muutoksia aikaan ilmanlaadussa. Uusien ajoneuvojen turvallisuusteknologia on myös kehittyneempää kuin vanhemmassa autokannassa. Autokannan uusiutuessa loukkaantumisriski pienenee, ja myös muiden tielläliikkujien turvallisuus paranee. Lisäksi moottoroitua liikennettä käyttävien ihmisten mahdollinen fyysinen passiivisuus saattaa heikentää terveyttä verrattuna fyysisesti aktiivisiin kulkumuotoihin.

Mallit ja työkalut:

- CNOSSOS-EU (JRC)
 - Tie-, raide- ja ilmaliikenteen sekä teollisuuden melumallinnus
- IHKU (SYKE)
 - Ilmansaastepäästöjen terveyshaittakustannukset
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset pienhiukkasiin, ylä- ja alailmakehän otsonin muodostumiseen, toksisuusvaikutukset ihmiseen
- TARVA
 - Keskimääräiset onnettomuusasteet ja onnettomuuksien vakavuusasteet
- NORTRIP (NILU, Norwegian institute for air research) ja FORE (Ilmatieteenlaitos)
 - Katupölyn mallinnus ja vaikutukset ilmanlaatuun, esimerkiksi eri rengastyyp-
pien vaikutukset katupölyyn.

3.1.2.3 Luontovaikutukset

Biopolttoaineiden laajamittaisella käyttöönnotolla voi olla haitallisia vaikutuksia metsien ja energiakas-
vien viljelyalojen monimuotoisuuteen, luontoarvoihin ja ekosysteemipalveluihin. Vesivoimalla tuotettu
sähkö vaikuttaa negatiivisesti jokien ja vesistöjen kalakantoihin sekä vaikeuttaa vaelluskalojen lisäänty-
mismahdollisuuksia ja tekoaltaista voi tulla merkittäviä metaanipäästöjä. Myös uusien autojen valmis-
tuksella on luontovaikutuksia muun muassa sähköautojen akkujen valmistuksessa tarvittavien mineraa-
lien ja niiden edellyttämien kaivosalueiden kautta. Uudet ajoneuvot ja käyttövoimat ovat
ilmansaastepäästöiltään vanhaa autokantaa pienempiä, millä on aikaisempaan autokantaan verrattuna
myönteisiä luontovaikutuksia.

Mallit ja työkalut:

- Zonation (Helsingin yliopisto)
 - Ekosysteemipalveluiden tarkastelut
 - TEEB for Finland suositukset
- MOTTI/SuojeluMOTTI (Luke)
 - Puuston kehitysennusteet, talousmetsän kustannukset ja hyödyt verrattuna
suojeluun
 - Hiilinielut
- MELA
 - Puuston kehitysennusteet
 - Hiilinielut
- KUSTAA, VEMALA, INCA RUSLE2015
 - Vesistövaikutukset
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset happamoitumiseen, rehevöitymiseen, ekotoksi-
suuteen ja luonnon monimuotoisuuteen
- FRES (SYKE)
 - Happamoittavat ja rehevöittävät laskeumat
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset materiaalivirrat ja ympäristövaikutukset (mm. happamoitu-
minen, rehevöityminen, otsonikato ja savusumu)
- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus.

3.1.2.4 Taloudelliset vaikutukset

Vaihtoehtoisia teknologioita käyttävät ajoneuvot ovat toistaiseksi hankintahinnaltaan perinteisiä polttomoottoriautoja kalliimpia, mutta niiden käyttökustannukset ovat alhaisemmat. Turvallisempi ja ilman saasteiden osalta vähäpäästöisempi tieliikenne vähentää terveydenhoitokustannuksia. Ajoneuvojen muuntaminen bioetanolilla ja biokaasulla toimiviksi saattaa lisätä taloudellista toimeliaisuutta ja työpaikkoja Suomessa.

Mallit ja työkalut:

- SISU (Tilastokeskus)
 - Autoverotuksen taloudelliset vaikutukset (AVERO-moduuli)
 - Kansalaisten ja kotitalouksien taloudellisen aseman tarkastelu, tuloerot ja kannustinvaikutukset
- IHKU (SYKE)
 - Ilmansaastepäästöjen terveyshaittakustannukset
- IVAR3 ja TARVA (Väylävirasto)
 - Liikenneturvallisuuden tarkastelut ja kustannusarviot
 - Henkilövahinko-onnettomuudet ja onnettomuuksien aiheuttamat kustannukset
- ENVIREGIO (SYKE)
 - Työllisyys ja aluetaloudelliset vaikutukset
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun valintojen vaikutukset arvonalisäykseen.

3.1.2.5 Sosiaaliset vaikutukset

Uuden, ympäristöystävällisen auton hankinta ei ole vähävaraisille mahdollista ilman huomattavia subventioita. Eriarvoisuuden kokemus voi lisääntyä, mikäli kaupungeissa edellytetään vähäpäästöisten autojen käyttöä tai niille myönnetään merkittäviä etuja esimerkiksi pysäköinnissä tai kaistojen käytössä. Eriarvoisuus tai kokemus eriarvoisuudesta voi lisääntyä myös, mikäli polttoaineen hinta nousee korkeaksi, ja jo hankittujen tavallisten henkilöautojen käyttökustannukset kasvavat.

Mallit ja työkalut:

- SISU (Tilastokeskus)
 - Autoverotuksen taloudelliset vaikutukset (AVERO-moduuli)
 - Kansalaisten ja kotitalouksien taloudellisen aseman tarkastelu, tuloerot ja kannustinvaikutukset
- Ohjeet ja oppaat (luku 4.5.1)
- Ilmastodieetti (SYKE), Itämerilaskuri (SYKE), Materiaalijalanjälkilaskuri (Lahden ammattikorkeakoulu)
 - Kuluttajätietoisuuden lisääminen.

Toimenpide-esimerkki / Ajoneuvoteknologia

”Kaupunki selvittää logistiikkayritysten liikenteen päästöjen vähentämistä.” (Vantaa 2019).

Aviapoliksen alueella kokeillaan sähköistä jakeluliikennettä. Logistiikkayritysten kanssa kehitetään kuljetusten sujuvuutta ja selvitetään sen ongelmakohtia. 2022–2025 välillä liikenteen sujuvuutta tehostetaan reaaliaikaisen liikenteen ohjauksen ja automaattisen valo-ohjauksen operoinnin avulla.

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Toimenpiteen toteutuksen kustannukset
- Infran rakentamisen ympäristövaikutukset
- + Kuljetusten matka-ajat lyhenevät
- + Tavaraliikenteen khk-päästöt vähenevät
- + Ilmanlaatu paranee
- + Meluhaitat vähenevät
- + Liiketoimintamahdollisuuksia palveluntarjoajille, sovelluskehittäjille ja laitevalmistajille
- + Smart & clean -työpaikkoja.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

3.2 Energiatehokkuus

Energiatehokkuus kuvaa energian avulla saatavan hyödyn ja siihen tarvittavan energiapanoksen suhdetta (Rakli 2019). Mitä vähemmän tarvitaan energiaa, tai mitä suurempi hyöty saavutetaan samalla energiamäärällä, sitä parempi on rakennuksen, laitteen tai prosessin energiatehokkuus. Energiatehokkuuden parantaminen on nopeavaikutteinen ja usein kustannustehokas tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Tässä luokittelussa energiatehokkuuteen liittyvät ilmastotoimet kohdistuvat:

- Rakennuksiin
 - tilojen lämmitys ja jäähdytys
 - käyttöveden lämmitys
 - ilmanvaihto
 - älyjärjestelmät
 - valaistus
 - sähköiset laitteet ja järjestelmät
- Energiantuotantoon
 - hukkalämmöt

- energian varastointi
 - älyjärjestelmät
 - voimalaitosten prosessit
 - verkostot
- Teollisuuden prosesseihin.

Liikennejärjestelmän ja ajoneuvojen energiatehokkuutta lisäävät toimenpiteet on sijoitettu luokkaan 'liikenne'.

3.2.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Rakennusten, laitteiden ja prosessien energiatehokkuutta parantamalla vähennetään primäärienergian tarvetta ja siten suoraan kasvihuonekaasupäästöjä. Energian varastoinnilla ja energian kulutuksen ja tuotannon älykkäällä hallinnalla voidaan välttyä kulutushuippujen aikana usein runsaspäästöisten huipputuotantolaitosten käynnistämiseltä. Myös voimalaitosten sekä esimerkiksi kaukolämpöverkkojen hyötysuhteita parantamalla sekä häviöitä pienentämällä saadaan vähemmästä tuotetusta energiasta sama hyötyenergia loppukäyttäjille. Vähemmän energiaa tarkoittaa käytännössä aina vähemmän päästöjä.

Mallit ja työkalut:

- Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu (YM, koekäyttö 2019)
 - Rakennusten elinkaaren aikaiset khk-päästöt
- EKOREM (SYKE)
 - Rakennusten energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt yksittäisestä rakennuksesta Suomen rakennuskantaan
- REMA (VTT)
 - Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutukset rakennuskannan energiantarpeeseen sekä hiilidioksidipäästöihin
- KEKO (SYKE)
 - Tarkasteltavan alueen rakennuskannan sähkön, lämmön ja jäähdytyksen kulutukseen käytettyjen polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöt
- POLIREM (SYKE)
 - Politiikkatoimien vaikutus Suomen rakennuskannan energiankulutukseen ja päästöihin
- Kuntien khk-laskennat
 - Energiankulutuksen aiheuttamat päästöt erilaisilla sektorijaoilla
- Pohjoismainen ympäristömerkki Joutsen
 - Vaatimukset vähäiselle energiankulutukselle ja khk-päästöille
- Ilmastodieetti (SYKE)
 - Yksityishenkilön hiilijalanjälki.

3.2.2 Terveysvaikutukset

Energiantuotannon ja käytön tehostuminen, esimerkiksi polttolaitosten tuotannon korvaaminen hukkalämmön talteenotolla ja lämpöpumpuilla, vähentää ilmansaasteiden päästöjä ja parantaa jossain määrin ilmanlaatua. Keskitetyn energiantuotannon päästöillä on kuitenkin varsin pieni vaikutus paikalliseen ilmanlaatuun savukaasujen tehokkaan puhdistuksen ja korkeiden piippujen ansiosta. Rakennusten

lämmityksen aiheuttamista ilmanlaatuvaikutuksista suurin osa syntyy puun pienpoltosta takoissa ja talo-kohtaisissa pienkattiloissa. Rakennusten parempi energiatehokkuus vähentää lämmitystarvetta ja tätä kautta myös puun pienpoltton määrää ja vaikuttaa positiivisesti pientalojen ilmanlaatuun ja ihmisten terveyteen.

Mallit ja työkalut:

- IHKU (SYKE)
 - Ilmansaastepäästöjen terveyshaittakustannukset
- FRES (SYKE)
 - Ilmansaasteiden ja khk-päästöjen sekä pienhiukkasten leviämisen ja ilmanlaatuvaikutusten alueellinen skenaariomallinnus
- ENFUSER (Ilmatieteen laitos)
 - Ilmanlaadun tarkat spatiaaliset ja ajalliset tarkastelut ja seuraavan 10 tunnin ennusteet (tällä hetkellä vain pääkaupunkiseudulle)
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset pienhiukkasiin, ylä- ja alailmakehän otsonin muodostumiseen, toksisuusvaikutukset ihmiseen.

3.2.3 Luontovaikutukset

Primäärienergian tarpeen vähentyessä polttoaineiden tuotannon (kivihiiilen louhinta, öljynporaus jne.) määrät laskevat ja luontoalueita säästyy. Myös ilmansaastepäästöjen vähenemisellä on myönteinen vaikutus biodiversiteettiin, kasvillisuuden elinvoimaisuuteen ja vesistöjen tilaan.

Mallit ja työkalut:

- Zonation (Helsingin yliopisto)
 - Ekosysteemipalveluiden tarkastelut
- MOTTI/SuojeluMOTTI (Luke)
 - Puuston kehitysennusteet, talousmetsän kustannukset ja hyödyt verrattuna suojeluun
 - Hiilinielut
- MELA
 - Puuston kehitysennusteet
 - Hiilinielut
- VEMALA, KUSTAA, INCA, RUSLE2015
 - Vesistövaikutukset
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset happamoitumiseen, rehevöitymiseen, ekotoksisuuteen ja luonnon monimuotoisuuteen
- FRES (SYKE)
 - Happamoittavat ja rehevöittävät laskeumat
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset materiaalivirrat ja ympäristövaikutukset (mm. happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja savusumu)
- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus
- TEEB for Finland-suositukset

3.2.4 Taloudelliset vaikutukset

Energiatohokkuutta parantavat toimet ovat usein taloudellisesti kannattavia melko lyhyelläkin aikajänteellä. Erityisesti fossiilisten polttoaineiden ja khk-päästöoikeuksien hintojen voidaan jatkossa olettaa nousevan.

Asuinrakennusten energiatohokkuutta parantamalla kotitalouksien kulut pienenevät ja asunnon arvo voi nousta. Energiatohokkuustoimilla on merkittävä työllistävä vaikutus.

Mallit ja työkalut:

- REMA (VTT)
 - Energiatohokkuustoimenpiteiden vaikutukset BKT:hen, työllisyyteen ja ulkoiskustannuksiin.
- VALTTI (Motiva)
 - Valaistushankintojen tarjousten elinkaarikustannusten vertailu.
- E-PASS (VTT)
 - Olemassa olevien rakennusten energiankulutuksen arviointi, korjausrakentamisen vaihtoehdot ja kannattavuus
- ASKO (VTT)
 - Korjausrakentamisen ennakkointimalli
- ENVIREGIO (SYKE)
 - Työllisyys ja aluetaloudelliset vaikutukset
- Aurinkosähköinvestoinnit ja käyttöveden lämmityksen optimointi (SYKE)
 - Aurinkopaneeli-investoinnin kannattavuus ja käyttöveden lämmityskustannusten minimointi
- Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus (Motiva)
 - Energiatohokkuustoimenpiteiden kannattavuus
- IHKU (SYKE)
 - Ilmansaastepäästöjen terveyshaittakustannukset
- KUTOVA (SYKE)
 - Kustannustehokkaiden vesiensuojelutoimenpiteiden valinta.

3.2.5 Sosiaaliset vaikutukset

Kodin energiankulutuksen reaaliaikainen seuranta ja muut 'älyratkaisut' lisäävät asukkaiden osallisuutta energiajärjestelmässä ja ilmastotavoitteiden toteuttamisessa, mikä voi lisätä sosiaalista yhteenkuuluvuuden tunnetta yhteiseen ilmastohaasteeseen liittyen. Mahdolliset pienemmät energiakustannukset vaikuttavat asumisen hintaan ja ovat erityisen merkityksellisiä matalimpien tuloluokkien väestöryhmille, liittyen kokemukseen oikeudenmukaisuudesta. Kaikilla ei kuitenkaan ole välttämättä, ainakaan lyhyellä aikavälillä, mahdollista investoida rakennusten energiatohokkuuden parantamiseen, mikä saattaa lisätä eriarvoisuutta tai kokemusta eriarvoisuudesta. Puhutaan myös energiaköyhyydestä.

Mallit ja työkalut:

- SISU (Tilastokeskus)
 - Kansalaisten ja kotitalouksien taloudellisen aseman tarkastelu, tuloerot ja kannustinvaikutukset
- Oppaat ja ohjeet (luku 4.5.1)
- Ilmastodieetti (SYKE), Itämerilaskuri (SYKE), Materiaalijalanjälkilaskuri (Lahden ammattikorkeakoulu)
 - Kuluttajatietoisuuden lisääminen.

Toimenpide-esimerkki / Energiatehokkuus

”Kaupungin oman asuntotuotannon peruskorjauksissa tavoitellaan suurta energiatehokkuutta ja toteutetaan elinkaarikustannuksiltaan kannattavat energiatehostamisen toimenpiteet.” (Helsinki 2018).

Peruskorjauksien suunnittelu toteutetaan niin, että rakennusten energiatehokkuus remontin jälkeen olisi mahdollisimman hyvä. Helsingin kaupungin omistuksessa on kaikkiaan noin 60 000 asuntoa.

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Toimenpiteen toteutuksen kustannukset
- Rakentamisen khk-päästöt ja muut ympäristövaikutukset
- + Rakennusten energiankäytön khk-päästöt pienenevät
- + Liiketoiminta- ja työllisyysmahdollisuuksia rakennusurakoitsijoille, energia-alan palveluntarjoajille ja laitevalmistajille
- + Kiinteistöjen energianhankinnan kustannukset pienenevät, mahdollinen vaikutus vuokratasoon
- + Asumisviihtyvyys paranee.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

3.3 Lämmitystapa

Rakennusten lämmityksen khk-päästöt ovat Suomessa merkittävä päästölähde. Energiatehokkuuden parantamisen ohella keskeinen päästöihin vaikuttava tekijä on lämmitystavan valinta, eli mitä lämmöntuotantomuotoa kiinteistöjen tilojen ja käyttöveden lämmityksessä käytetään. Vaihtoehtoja ovat muun muassa kaukolämpö, sähkölämmitys, maalämpö, ilma-vesilämpöpumppu, öljylämmitys, pelletti, hake/pilke/muu puu, kaasu sekä erilaiset hybridiratkaisut mukaan lukien aurinkoenergia, ilmalämpöpumput ja varaavat takat. Kaikilla ratkaisuilla on erilaiset khk-päästövaikutukset ja muut vaikutukset. Fossiilisista polttoaineista, pääasiassa öljystä, pyritään luopumaan ja korvaamaan ne erilaisilla lämpöpumpuilla, kaukolämmityksellä tai uusiutuvilla biopolttoaineilla.

3.3.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Kasvihuonekaasujen päästövähennys syntyy kun runsaspäästöisempi lämmitystapa vaihdetaan vähäpäästöisempään. Kaukolämmön kohdalla vaikutus riippuu siitä miten kaukolämpö alueella tuotetaan, ja sähkön osalta Suomen sähkönhankinnan päästöistä. Mikäli sähköenergia tuotetaan tuuli-, vesi-, aurinko- tai ydinvoimalla, ja kiinteistön lämmitys sähköistetään esimerkiksi lämpöpumppujen avulla, voidaan lämmityksen päästöt saada lähelle nollaa.

Öljylämmityksen korvaaminen on pääsääntöisesti ilmaston kannalta myönteinen ratkaisu. Biopolttoaineiden kohdalla tulee kuitenkin huomioida mahdolliset vaikutukset metsien ja maaperän hiilinieluun. Lisäksi, vaikka biopolttoaineita voidaan laskennallisesti pitää kasvihuonekaasupäästöjen suhteen päästöttöminä, talokohtaisessa puun pienpoltossa takoissa ja klapikattiloissa syntyy käytännössä aina nokipäästöjä (musta hiili), joiden ilmastoa lämmittävä vaikutus on merkittävä Suomen leveyspiireillä.

Mallit ja työkalut:

- Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu (YM, koekäyttö 2019)
 - Rakennusten elinkaaren aikaiset khk-päästöt
- EKOREM (SYKE)
 - Rakennusten energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt yksittäisestä rakennuksesta Suomen rakennuskantaan
- REMA (VTT)
 - Lämmitystapojen vaikutukset rakennuskannan hiilidioksidipäästöihin
- KEKO (SYKE)
 - Tarkasteltavan alueen rakennuskannan sähkön, lämmön ja jäähdytyksen kuluutukseen käytettyjen polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöt
- POLIREM (SYKE)
 - Politiikkatoimien vaikutus Suomen rakennuskannan lämmityksen päästöihin
- Kuntien khk-laskennat
 - Energiankulutuksen aiheuttamat päästöt eri lämmitystavoilla
- Pohjoismainen ympäristömerkki Joutsen
 - Vaatimukset energian khk-päästölle
- Ilmastodieetti (SYKE)
 - Yksityishenkilön hiilijalanjälki.

3.3.2 Terveysvaikutukset

Jos öljylämmitys korvataan jollain ei-polttoon perustuvalla lämmitysmuodolla, vähennetään jossain määrin myös ilmanlaatuun paikallisesti vaikuttavia pienhiukkas- ja typenoksidipäästöjä.

Puun pienpolton lisääntymisellä tukilämmitysmuotona voi kuitenkin olla päinvastainen vaikutus. Samoin siirtyminen talokohtaiseen kiinteän polttoaineen polttamiseen pääasiallisena lämmitysmuotona (klapit tai pelletti) heikentää paikallista ilmanlaatua.

Mallit ja työkalut:

- IHKU (SYKE)
 - Ilmansaastepäästöjen terveyshaittakustannukset
- FRES (SYKE)
 - Ilmansaasteiden ja khk-päästöjen sekä pienhiukkasten leviämisen ja ilmanlaatuvaikutusten alueellinen skenaariomallinnus
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset pienhiukkasiin, ylä- ja alailmakehän otsonin muodostumiseen, toksisuusvaikutukset ihmiseen.

3.3.3 Luontovaikutukset

Öljynkäytön vähentyessä tuotannon ja kuljetusten öljyvutujen riski pienenee. Biopolttoaineiden lisäämisellä voi puolestaan olla haitallisia vaikutuksia metsien ja energiakasvien viljelyalueiden monimuotoisuuteen, luontoarvoihin ja ekosysteemipalveluihin. Sähkön tuotantotavoista vesivoima vaikuttaa negatiivisesti jokien ja vesistöjen kalakantojen monimuotoisuuteen sekä heikentää vaelluskalojen lisääntymismahdollisuuksia.

Mallit ja työkalut:

- Zonation (Helsingin yliopisto)
 - Ekosysteemipalveluiden tarkastelut
 - TEEB for Finland suositukset
- MELA
 - Puuston kehitysennusteet
 - Hiilinielut
- MOTTI/SuojeluMOTTI (Luke)
 - Puuston kehitysennusteet, talousmetsän kustannukset ja hyödyt verrattuna suojeluun
 - Hiilinielut
- KUSTAA, VEMALA, INCA, RUSLE2015
 - Vesistövaikutukset
- Maaperämallit ja metsämallit
 - Metsien käytön vaikutukset maaperän hiilitaseeseen, metsätalouteen ja hiilinieluihin
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset happamoitumiseen, rehevöitymiseen, ekotoksisuuteen ja luonnon monimuotoisuuteen
- FRES (SYKE)
 - Happamoittavat ja rehevöittävät laskeumat
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset materiaalivirrat ja ympäristövaikutukset (mm. happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja savusumu)
- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus.

3.3.4 Taloudelliset vaikutukset

Lämmitystavan vaihto on investointi jonka kannattavuus vaihtelee kohteittain. Parhaimmillaan hyöty on taloudellisesti merkittävä ja takaisinmaksuajat kohtuullisen lyhyitä. Lämmitysmuotojen laajamittaisella muuttamisella on suuri työllistävä vaikutus.

Mallit ja työkalut:

- REMA (VTT)
 - Rakennusten energiankäytön vaikutukset BKT:hen, työllisyyteen ja ulkois-kustannuksiin.
- ENVIREGIO (SYKE)
 - Työllisyys ja aluetaloudelliset vaikutukset
- IHKU (SYKE)
 - Ilmansaastepäästöjen terveyshaittakustannukset
- Lämmitystapojen vertailulaskuri (Motiva)
 - Yksittäisen pientalon lämmitysvaihtoehtojen kustannukset

- Aurinkosähköinvestoinnit ja käyttöveden lämmityksen optimointi (SYKE)
 - Aurinkopaneeli-investoinnin kannattavuus ja käyttöveden lämmityskustannusten minimointi
- KUTOVA (SYKE)
 - Kustannustehokkaiden vesiensuojelutoimenpiteiden valinta.

3.3.5 Sosiaaliset vaikutukset

Lämmitystavan vaihtamisen edellyttäminen voidaan kokea epäoikeudenmukaiseksi, ja vaihtoinvestointi voi olla varoihin ja asunnon arvoon nähden taloudellisesti vaikeasti perusteltavissa. Taloyhtiöissä asukkaat kokevat tällaisen investoinnin tarpeet ja hyödyt eri tavoin, joten sovun löytäminen voi olla hankalaa ja päätökset voivat aiheuttaa riitoja.

Mallit ja työkalut:

- SISU (Tilastokeskus)
 - Kansalaisten ja kotitalouksien taloudellisen aseman tarkastelu, tuloerot ja kannustinvaikutukset
- Ohjeet ja oppaat (luku 4.5.1)
- Ilmastodieetti (SYKE), Itämerilaskuri (SYKE), Materiaalijalanjälkilaskuri (Lahden ammattikorkeakoulu)
 - Kuluttajatietoisuuden lisääminen.

Toimenpide-esimerkki / Lämmitystavat

”Maalämmön hyödyntämistä helpotetaan poistamalla sille asetettuja rajoituksia.” (Espoo 2016).

Maalämpöön liittyviä rajoituksia madalletaan kaavoitusvaiheessa tapauskohtaisesti esimerkiksi sallimalla maalämpökaivoja katujen ja puistojen alle tai tontilta vinoon poraten.

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Lämpöpumppujen kylmäainepäästöt
- Sähkönkulutus kasvaa ja kulutuspiikit lisääntyvät
- + Rakennusten energiankäytön khk-päästöt pienenevät
- + Liiketoiminta- ja työllisyysmahdollisuuksia energia-alan palveluntarjoajille ja laitevalmistajille
- + Kiinteistöjen energianhankinnan kustannukset pienenevät
- + Vältettävät isompien energiainfrahankkeiden kustannukset ja rakentamisen päästöt.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

3.4 Rakennusmateriaalit

Rakentamisesta syntyy huomattava määrä kasvihuonekaasupäästöjä, joista suuri osa on peräisin rakennusmateriaalien tuottamisesta. Kuntien käyttöperusteissa khk-päästöjen laskennassa rakentamisen päästöt näkyvät ainoastaan rakennustyömaiden energiankäytön ja niiden aiheuttaman liikenteen kautta. Rakentamisen ilmastovaikutusta tarkastellaankin yleensä hiilijalanjäljen näkökulmasta, rakennuksen tai muun kyseessä olevan kohteen elinkaarenaikaisiin vaikutuksiin perustuen. Tällöin mukaan lasketaan mm. rakennusmateriaalien päästöt ja rakennuksen käytönaikaiset päästöt. Myös kohteen tulevaisuudessa tapahtuvan purkamisen ilmastovaikutukset voidaan laskea mukaan hiilijalanjälkeen. Ympäristöministeriön tavoitteena on hiilijalanjäljen huomioiminen rakennushankkeiden viranomaisohjauksessa.

Materiaalivalintojen kierrätysmahdollisuuksien huomioon ottaminen jo suunnitteluvaiheessa mahdollistaa materiaalin kierron vielä rakennuksen elinkaarta pidempäänkin. Myös maarakentamisessa voidaan neitseellisten materiaalien asemesta hyödyntää uusiomaa-ainesta tai muita kierrätettyjä materiaaleja.

3.4.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Rakennusmateriaalien valinnoilla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen hiilijalanjälkeen. Erilaisille rakentamisessa tarvittaville betoni-, metalli-, muuraus-, puu- ja levy- sekä muovituotteille ja eristeille voidaan laskea ominaispäästö. Myös tuoteryhmien sisällä ominaispäästöihin tulee merkittävää vaihtelua mm. tuotantoprosessien tehokkuuden ja niissä käytetyn energian päästöjen vuoksi. Rakentamiselle voidaan arvioida myös hyötyjä, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Näitä voivat olla rakennuksen hiilivarastot ja hiilinielut sekä rakennustuotteiden uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä aiheutuvat päästövähennykset. Rakentamisessa päästöjen ajoittumisen tarkastelu on tärkeää, koska osa päästöistä ja hyödyistä toteutuu vasta kymmenien vuosien päästä.

Mallit ja työkalut:

- Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu (YM, koekäyttö 2019)
 - Rakennusten elinkaaren aikaiset khk-päästöt
- ENVIMAT (SYKE)
 - Rakentamisen ja rakennusmateriaalien elinkaariset khk-päästöt
- ILMARI (VTT)
 - Uudisrakennusten ja peruskorjaushankkeiden suunnitteluvaiheen hiilijalanjäljen arviointi,
 - Merkittävimmät rakennusosat
- SYNERGIA (SYKE)
 - Rakennusten päämateriaalien ja päärakenteiden hiilijalanjäljen arviointi
- KEKO (SYKE)
 - Rakennusten erityyppisten materiaalien vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin ja luonnonvarojen kulutukseen
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset khk-päästöt.
- Pohjoismainen ympäristömerkki Joutsen
 - Vaatimukset ympäristöä säästäville rakennusmateriaaleille

3.4.2 Terveysvaikutukset

Vähäpäästöisillä materiaalivalinnoilla voi olla positiivinen vaikutus sisäilman laatuun ja koettuun terveyteen. Materiaalivalinnoilla ja rakentamisen toimintatavoilla on suuri merkitys kosteusvaurioiden ja niistä aiheutuvien terveysriskien hallinnassa.

Mallit ja työkalut:

- CNOSSOS (EU)
 - Melumallinnus, rakennusmateriaalien vaikutukset
- Rakennusmateriaalien päästöluokitus M1
 - Materiaaleista sisäilmaan syntyvien päästöjen vähäisyys
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset pienhiukkasiin, ylä- ja alailmakehän otsonin muodostumiseen, toksisuusvaikutukset ihmiseen.

3.4.3 Luontovaikutukset

Mikäli puurakentaminen lisää hakkuita, on sillä negatiivisia vaikutuksia luontoon ja ilmastoon esimerkiksi hiilinielujen häviämisen ja biodiversiteettivaikutusten kautta. Toisaalta sementin ja erilaisten

kaivannaisten korvaaminen puulla on ekologisesti kestävämpi ratkaisu. Puuraaka-aineen hankinnassa tulee varmistua metsien kestävästä hakkuutasosta.

Mallit ja työkalut:

- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset happamoitumiseen, rehevöitymiseen, ekotoksi-suuteen ja luonnon monimuotoisuuteen
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset materiaalivirrat ja ympäristövaikutukset (mm. happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja savusumu)
- Maaperämallit ja metsämallit
 - Metsien käytön vaikutukset maaperän hiilitaseeseen, metsätalouteen ja hiilinieluihin
- KUSTAA, VEMALA, INCA, RUSLE2015
 - Vesistövaikutukset
- Pohjoismainen ympäristömerkki Joutsen
 - Metsien käytön kestävyysvaatimukset
- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus.

3.4.4 Taloudelliset vaikutukset:

Rakennusmateriaalien käyttö, tuotanto, vienti ja tuonti ovat kaikki kansantaloudellisesti merkittävä erä. Taloudelliset vaikutukset ulottuvat laajalle ja ovat verraten monimutkaisia.

Mallit ja työkalut

- MELA (Luke)
 - Metsien käyttömahdollisuudet eri maan- ja metsäkäyttöskenaarioissa
 - Hiilinielut
- MOTTI/SuojeluMOTTI (Luke)
 - Puuston kehityssennusteet, talousmetsän kustannukset ja hyödyt verrattuna suojeluun
 - Hiilinielut
- ENVIREGIO (SYKE)
 - Työllisyys ja aluetaloudelliset vaikutukset
- OpenLCA (GreenDelta) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun valintojen vaikutukset arvonlisäykseen.

3.4.5 Sosiaaliset vaikutukset

Materiaalivalinnat vaikuttavat viihtyvyyteen kodeissa ja julkisissa tiloissa, mikä voi olla tärkeää sosiaalisen hyvinvoinnin kannalta.

Mallit ja työkalut:

- Ohjeet ja oppaat (luku 4.5.1)

Toimenpide-esimerkki / Rakennusmateriaalit

”Kaupunki edistää puurakentamista.” (Vantaa 2019)

Vantaalla pilotoidaan puurakentamisen kaava-alue, valmistellaan linjaus puurakentamisen lisäämiselle ja osoitetaan puurakentamisen kohteita kaavoituksessa, suunnittelukilpailuissa ja tontinluovutuksessa.

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Mahdollinen rakentamiskustannusten kasvu
- Mahdollinen hakkuumäärien kasvu ja metsien hiilinielun pienentyminen
- + Rakennusten hiilijalanjälki on muita vaihtoehtoja pienempi
- + Liiketoiminta- ja työllisyysmahdollisuuksia puutuoteteollisuudelle
- + Asumisviihtyvyys paranee.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

3.5 Ruoka

Ruoan tuotannon ja kulutuksen vaikutukset ilmastoon, luontoon ja yhteiskuntaan ovat moninaiset. Tuotanto kuluttaa myös paljon ravinteita, maapinta-alaa, energiaa ja vesivaroja. Maatalouden päästöt aiheuttavat suurimman osan elintarvikkeiden ympäristövaikutuksista.

Ilmaston kannalta keskeisiä kysymyksiä ovat lihatuotteiden määrä ja laatu, sekä ruokahävikki. Nykyisillä tuotantotavoilla ja volyyymeillä erityisesti nautaperäisten tuotteiden hiilijalanjälki on huomattavan korkea. Sen sijaan lähes kaikki kasvikset ja esimerkiksi kotimainen hoitokalastettu kala tuottavat vain vähän päästöjä.

Kaikki ruoantuotanto synnyttää päästöjä, myös kasvisruoka. Erityisesti tuotanto turvepelloilla on ilmaston kannalta ongelmallista. Myös kasvihuoneviljely on runsaspäästöistä, jos kasvihuoneet lämmitetään fossiilisilla polttoaineilla ja valaistusta ei ole uusittu energiatehokkaaksi. Kuljetuksilla on pieni merkitys ruoantuotannon päästöjen kokonaisuudessa, lentorahtia lukuun ottamatta. Ruokahävikin ehkäisy vähentää (ainakin teoriassa) tarvittavan ruoantuotannon määrää ja siten khk-päästöjä.

3.5.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Ruoantuotanto ja -kulutus aiheuttavat hieman yli 20 prosenttia kulutuksen ilmastovaikutuksista. Ruoan kasvihuonekaasupäästöt kuten myös muutkin päästöt syntyvät pääasiassa alkutuotannossa eli maataloussektorilla maaperästä lannoitteiden käytön seurauksena, suoraan eläimistä sekä fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Kuluttajien vaikuttamismahdollisuuksien näkökulmasta päästöjä on kuitenkin monessa tapauksessa syytä tarkastella kulutusperusteisesti.

Ruoan päästöjen vähentämistoimet kohdistuvat pääasiassa ruokavalion ohjaamiseen ja ruokahävikin minimointiin. Kasvisruoan tarjonnan lisäämisellä voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, koska lihaperäisillä tuotteilla on pääsääntöisesti aina kasviksia suurempi hiilijalanjälki. Molempien tuoteryhmien sisällä on kuitenkin huomattavan suuria eroja eri vaihtoehtojen hiilijalanjäljessä. Ruokahävikkiä voidaan pienentää ruokaketjun kaikissa vaiheissa.

Mallit ja työkalut:

- ENVIMAT (SYKE)
 - Ruoantuotannon tuotannon ja kulutuksen khk-päästöt
 - Kasvi- ja eläinperäiset elintarvikkeet, alkoholittomat juomat ja alkoholijuomat
- Ilmastodieetti (SYKE)
 - Yksittäisen kuluttajan ruoan hiilijalanjälki
- Foodweb/Foodplate
 - Erilaisten lounasvaihtoehtojen energiasisällön, ravintoarvojen, CO₂-päästöjen ja muiden ympäristövaikutusten ja haitta-aineille altistuksen arviointi
- Kuntien khk-laskennat
 - Maatalouden khk-päästöt
- VEMALA-N (SYKE)
 - Maatalouden kaasumaisten tyyppiyhdisteiden (NH₃, N₂O, NO_x ja N₂) päästöt sekä NMVOC-päästöt
- LUONNIKAS (SYKE)
 - Maatalousmaan khk-päästöt
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2
 - Tuotantoketjun elinkaariset khk-päästöt.

3.5.2 Terveysvaikutukset

Monissa tutkimuksissa on osoitettu, että ruokavaliolla on vaikutusta ihmisten terveyteen. Toimet, joilla kannustetaan ihmisiä siirtymään kasvispainotteisempaan ruokavalioon, saavat tukea myös ravitsemussuosituksista.

Laajasti toteutuvilla ruokatottumusten muutoksilla voi olla kansanterveyttä ja hyvinvointia parantavia vaikutuksia. Ruoan sisältämien haitta-aineiden pitoisuuksia on mahdollista pienentää maataloustuotantoa kehittämällä, ja esimerkiksi luomutuotantoon siirtyminen on yksi vaihtoehto ruoan haitta-aineiden määrän vähentämiseksi.

Mallit ja työkalut:

- Ravitsemussuositukset
 - Ravitsemussuositukset laatii Suomessa Valtion ravitsemusneuvottelukunta, joka on maa- ja metsätalousministeriön alainen asiantuntijaelin.
- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset pienhiukkasiin, ylä- ja alailmakehän otsonin muodostumiseen, toksisuusvaikutukset ihmiseen
- Foodweb/Foodplate
 - Erilaisten lounasvaihtoehtojen energiasisällön, ravintoarvojen, CO₂-päästöjen ja muiden ympäristövaikutusten ja haitta-aineille altistuksen arviointi.

3.5.3 Luontovaikutukset

Ruoantuotanto vaikuttaa ilmaston lämpenemisen lisäksi myös ympäristön rehevöitymiseen ja happamoitumiseen, luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen sekä ympäristön kemikalisoitumiseen. Luontovaikutuksia voidaan vähentää samoilla keinoilla kuin ilmastovaikutuksiakin. Kasvien kasvatusta vaatii selvästi vähemmän maapinta-alaa ja aiheuttaa vähemmän ympäristökuormitusta kuin lihan tuottaminen. Luomutuotannon suosiminen vähentää torjunta-aineiden käyttöä ja vaikuttaa eläinten hyvinvointiin.

Mallit ja työkalut:

- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset happamoitumiseen, rehevöitymiseen, ekotokisuuteen ja luonnon monimuotoisuuteen
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset materiaalityövärrat ja ympäristövaikutukset (mm. happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja savusumu)
- KUSTAA, VEMALA, INCA, RUSLE2015
 - Vesistövaikutukset
- VIHMA (SYKE)
 - Peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormituksen sekä ympäristötoimenpiteiden vaikutukset
- MACRO/FOKUS (Uppsalan yliopisto); COHERENS (Royal Belgian Institute of Natural Sciences)
 - Kasvinsuojeluaineiden hajoaminen, sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä veden mukana
- INCA (NIVA)
 - Maankäytön muutosten, säävaihteluiden ja tuotantopanosten muutosten vaikutukset typpeen, fosforiin, sedimenttiin, kloridiin, hiileen, elohopeaan ja taudinaiheuttajiin valuma-alueilla
- RUSLE2015 (JRC/LUKE)
 - Maatalousmaiden eroosio sekä vesistökuormitus
- DEMCROP (LUKE)
 - Optimaalisen viljelykierron, pellonkäytön ja kalkituksen laskenta
- VEMALA-N (SYKE)
 - Maatalouden kaasumaisten typpiyhdisteiden (NH₃, N₂O, NO_x ja N₂) päästöt sekä NMVOC-päästöt
- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus.

3.5.4 Taloudelliset vaikutukset

Maanviljelyn taloudelliset reunaehdot määritellään pitkälti poliittisesti kansallisella ja EU:n tasolla. Ruoantuotannon lisäämisellä on aluetalouden ja ruokaketjun eri vaiheissa toimivien yritysten kannalta positiivisia vaikutuksia. Kansantalouden ja ympäristövaikutusten kannalta ruoantuotannon lisääminen ja maataloustuotteiden lisääntyvä tuottaminen vientiin ei välttämättä ole perusteltua. Ruoan tuotantopainoksissa Suomi on tuontiriippuvainen.

Ruokakulttuurin muutosten ja uusien kasviproteiinituotteiden ympärille voi syntyä uutta liiketoimintaa. Myös esimerkiksi lähiruoan suosimisella voi olla merkittäviä aluetaloudellisia vaikutuksia.

Mallit ja työkalut:

- ENVIREGIO (SYKE) tämä myös

- Työllisyys ja aluetaloudelliset vaikutukset
- OpenLCA (GreenDelta) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun valintojen vaikutukset arvonalisäykseen
- DREMFA (Luke)
 - Aluekohtaisen tuotantokehityksen ja maatalouden rakennetehityksen simulointi ja politiikkamuutosten vaikutukset maatalouteen
- DEMCROP (Luke)
 - Optimaalisen viljelykierron, pellonkäytön ja kalkituksen laskenta
 - Satohinnat, salaajituksen kannattavuus, tyyppiverotus
- KUTOVA (SYKE)
 - Maatalouden, metsätalouden, haja-asutuksen ja turvetuotannon vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus fosforikuormituksen vähentämisen suhteen
- MELA (Luke)
 - Metsien käyttömahdollisuudet eri maan- ja metsänkayttoskenaarioissa
- MOTTI/SuojeluMOTTI (Luke)
 - Puuston kehityssennusteet, talousmetsän kustannukset ja hyödyt verrattuna suojeluun
 - Hiilinielut.

3.5.5 Sosiaaliset vaikutukset

Ruoka vaikuttaa monella tavalla ihmisen hyvinvointiin. Sosiaalista hyvinvointia luovat yhteiset ruokahetket, ruokaperinteet, juhlatilaisuudet ja vieraanvaraisuus. Hyvinvointia edistävät esimerkiksi hyvän ruoan tuottama mielihyvä, valinnan mahdollisuudet, ruokailutilanteet ja ruokailuympäristön viihtyvyys.

Ruokavalinnat voidaan kokea yksityisasiana, johon puuttuminen edes kaupungin järjestämien ruokapalveluiden muutoksilla voi tuntua epäoikeudenmukaiselta, mutta toisaalta ruoan terveellisyyttä on jo pitkään parannettu ravitsemussuosituksia noudattamalla. Ruokavalintojen kautta voidaan synnyttää sosiaalista yhteenkuuluvuutta. Ruoan hinnalla on merkittäviä sosiaalisia vaikutuksia - kaikilla pitäisi olla varaa ruokaan.

Mallit ja työkalut:

- Oppaat ja ohjeet (luku 4.5.1)
- Ilmastodieetti (SYKE), Itämerilaskuri (SYKE), Materiaalijalanjälkilaskuri (Lahden ammattikorkeakoulu)
 - Kuluttajatietoisuuden lisääminen

Toimenpide-esimerkki / Ruoka

”Lisätään kasvis-, kausi- ja lähiruoan osuutta kaupungin ateriapalveluissa.” (Espoo 2016).

Nykyisin Espoon kouluissa on kasvisruokapäivä neljä kertaa viidessä viikossa. Kasviskomponenttien osuutta aterioissa lisätään.

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Kustannukset voivat kasvaa
- Ruokahävikki ja tyytymättömyys voivat kasvaa
- + Ruokapalvelujen khk-päästöt ja kaupungin hiilijalanjälki pienenevät
- + Maatalouden ravinnepäästöt vähenevät
- + Metsäkato voi pienentyä (peltojen raivaus lannan levitykseen)
- + Kasvipitoisemman ruokavalion terveysvaikutukset
- + Liiketoimintamahdollisuuksia uusille kasviruoan tuottajille.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

3.6 Muu kulutus

Muun kulutuksen piiriin kuuluvat tässä ne kunnan ja kuntalaisten tekemät materiaali- ja palveluhankinnat, joita ei käsitellä muissa kategorioissa. Näitä voivat olla esimerkiksi matkat, tietotekniset (eli ICT-) laitteet, vaatteet. Kulutuksen vaikutuksia tarkastellaan yleensä elinkaariarvioinneilla, tai ilmastovaikutuksiin keskittyvällä hiilijalanjälkilaskennalla, tai kansantalouden panos-tuotosmallinnuksesta tuotetuilla eri tuoteryhmien keskimääräisillä khk-päästöillä kulutettua euroa kohti (ENVIMAT, Nissinen & Savolainen 2019).

3.6.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Kulutuksen aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin vaikutetaan kohdistamalla käytetty rahamäärä vähäpäästöisiin tavaroihin ja palveluihin. Kiertotalous ja jakamistalous ovat keinoja kulutuksen ympäristöhaittojen hillitsemiseksi. Tuotteiden uudelleen käyttö sekä kulkuvälineiden ja esimerkiksi työkoneiden yhteiskäyttö tarjoavat vaihtoehtoja uuden tuotteen ostamiselle ja myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Mallit ja työkalut:

- ENVIMAT (SYKE)
 - Kulutusmenoihin perustuva elinkaarinen khk-päästölaskenta tavara- ja palveluluokittain, sekä julkisille hankinnoille että kotitalouksien kulutukselle (eli yksityiselle kulutukselle)
- Ilmastodieetti (SYKE)
 - Yksityishenkilön hiilijalanjälki
- Elämäntapatesti (Sitra)
 - Yksityishenkilön hiilijalanjälki, yksinkertaisempi laskuri kuin ilmastodieetti, mutta sisältää 100 parannustoimenpidettä päästövaikutuksineen
- JUHILAS
 - Julkisten hankintojen hiilijalanjäljen laskenta
 - IT-, paperi-, toimistotuoli-, ulkovalaistus-, hygieniatuotelaskurit
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset khk-päästöt.

3.6.2 Terveysvaikutukset

Kulutusta muuttavilla toimenpiteillä voi olla vaikutuksia terveyteen muun muassa erilaisten matkustusvalintojen kautta. Myös esimerkiksi kulutushyödykkeiden hankintoja vähentämällä tai ympäristömerkkien tuotteiden käytöllä voidaan vähentää altistumista haitallisille aineille.

Mallit ja työkalut

- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset pienhiukkasiin, ylä- ja alailmakehän otsonin muodostumiseen, toksisuusvaikutukset ihmiseen.

3.6.3 Luontovaikutukset

Palvelu- ja tavarahankintojen arvoketjua tarkasteltaessa luontovaikutuksia löytyy monesta kohtaa elinkaarta, raaka-aineiden hankinnasta tuotteen loppukäyttöön. Elinkaariarvioinneilla, hankintojen ympäristökriteereillä ja tuotteiden ja palveluiden ympäristömerkkien avulla luontovaikutuksia voidaan pienentää.

Mallit ja työkalut

- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset happamoitumiseen, rehevöitymiseen, ekotoksi-suuteen ja luonnon monimuotoisuuteen
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset materiaalivirrat ja ympäristövaikutukset (mm. happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja savusumu)
- KUSTAA, VEMALA, INCA, RUSLE2015
 - Vesistövaikutukset
- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus

3.6.4 Taloudelliset vaikutukset

Harkitumpi ja vähäpäästöisempi kuluttaminen voi tuoda myös kustannussäästöjä. Toisaalta ympäristö-vastuulliset tuotteet eivät välttämättä aina ole edullisin vaihtoehto, varsinkaan hankintahinnaltaan. Hankintakustannusten ohella tuleekin arvioida myös käyttöikä ja käytönaikaiset kustannukset.

Mallit ja työkalut:

- ENVIREGIO (SYKE)
 - Työllisyys ja aluetaloudelliset vaikutukset
- OpenLCA (GreenDelta) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun valintojen vaikutukset arvonlisäykseen
- VALTTI (Motiva)
 - Valaistushankintojen tarjousten elinkaarikustannusten vertailu.
- Taloustesti (Martat)
 - Testi kotitalouden rahatilanteesta, vastaamalla kahdeksaan helppoon kysymykseen.
- KUTOVA (SYKE)
 - Kustannustehokkaiden vesiensuojelutoimenpiteiden valinta.

3.6.5 Sosiaaliset vaikutukset

Kulutustottumusten muuttuminen voi johtaa tasa-arvoisempaan, varallisuutta vähemmän korostavaan suuntaan, joskin kehitys saattaa johtaa myös arvopohjaltaan erilaisten väestöryhmien entistä suurempaan eriytymiseen.

Mallit ja työkalut:

- SISU (Tilastokeskus)
 - Kansalaisten ja kotitalouksien taloudellisen aseman tarkastelu, tuloerot ja kannustinvaikutukset
- Ilmastodieetti (SYKE), Itämerilaskuri (SYKE), Materiaalijalanjälkilaskuri (Lahden ammattikorkeakoulu)
 - Kuluttajatietoisuuden lisääminen
- Ohjeet ja oppaat (luku 4.5.1)

Toimenpide-esimerkki / Muu kulutus

”Kaupunki kehittää hankintamenettelyjä resurssiviisauden tavoitteiden saavuttamiseksi.” (Vantaa 2019)

Vantaan kaupungin hankintaprosessia ja hankintojen vaikuttavuutta uudistetaan. Elinkaariajattelun käyttöönottoa edistetään systemaattisesti. Hankitaan kierrätettäviä, purettavia, korjattavia ja pitkäikäisiä tuotteita sekä rakennusmateriaaleja. Rakentamisen hankinnoissa käytetään ympäristömerkittyjä tuotteita ja julkisten hankintojen tarjouspyynnöissä käytetään hankintakriteereinä rakennusten kierrätysmateriaalien käyttöä. Lisäksi kehitetään ideakilpailu- ja kokeilukonsepti ja juurrutetaan elinkaariajattelu ja -mallit käyttöön.

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Kestävien tuotteiden ja palvelujen mahdollisesti korkeammat hankintakustannukset
- + Kestävien hankintojen matalammat elinkaaren aikaiset kustannukset
- + Kaupungin hiilijalanjälki pienenee
- + Neitseellisten materiaalien käyttö vähenee; myönteiset luontovaikutukset
- + Liiketoiminta- ja työllistymismahdollisuuksia kestävien tuotteiden ja palvelujen tarjoajille
- + Kysyntää tutkimustyölle ja konsulteille.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

3.7 Materiaalitehokkuus

Materiaalitehokkuudella tarkoitetaan tuotteen tai palvelun tuottaman hyödyn suhdetta siihen tarvittaviin luonnonvarapanoksiin. Materiaalitehokkuuden parantaminen on kiertotaloutta, jossa pyritään luomaan taloudellista arvoa aiempaa vähemmästä materiaalmäärästä sekä säilyttämään materiaalit ja niihin sitoutunut arvo taloudessa mahdollisimman pitkään. Kiertotalous on kestävän talouden tavoitetilä, jossa materiaalit kiertävät tehokkaasti, luonnonvaroja käytetään säästeliäästi ja hyvinvointi jakaantuu oikeudenmukaisesti. Arvonlisäys eli taloudellinen tuottavuus ei tapahdu luonnonvarojen käytön kustannuksella.

Tuotteita pyritään käyttämään pitkään (huollot, korjaukset), niiden käyttöastetta nostetaan (lainaaminen, jakaminen) ja jätteenä jäävät materiaalit kierrätetään. Kulutusta pyritään suuntaamaan vähäpäästöisiin palveluihin. Ilmasto-ohjelmissa materiaalitehokkuutta parantavat toimet liittyvät jätteen synnyn ehkäisyyn, kierrätykseen, ja jakamis- ja kiertotalouden edistämiseen.

3.7.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Kierrätyksen tehostamisella ja jätteen synnyn minimoinnilla, myös harkitun kuluttamisen kautta, vähennetään jätehuollosta syntyviä päästöjä sekä suojellaan ympäristöä sinne kuulumattomilta saasteilta. Päästövaikutus näkyy jätteenkäsittelyn päästöissä sekä laajemmin kunnan tai alueen elinkaariperusteisesti määritetyssä hiilijalanjäljessä. Kierrätystuotteilla on pääsääntöisesti neitseellisten luonnonvarojen käyttöön verrattuna pienemmät tuotannon kasvihuonekaasupäästöt.

Kierrättämällä jätteitä voidaan välttyä myös merkittävältä energiankulutukselta ja sitä kautta vähentää päästöjä. Esimerkiksi kierrätetyn muovin käsittely uudelleenkäytettäväksi kuluttaa energiaa noin 12 % primääriraaka-aineen valmistukseen tarvittavasta energiasta. Kierrätetyn metallijätteen käsittely puolestaan kuluttaa alle prosentin primääriraaka-aineen tuotantoon tarvittavasta energiasta (Pöyry 2015). Toisaalta jätteiden erilliskeräyksen laajentaminen lisää jätekuljetusten tarvetta.

Materiaalitehokkuutta parantavien toimien päästövaikutusten arviointi edellyttää usein vaativaa elinkaarilaskentaa.

Mallit ja työkalut:

- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset materiaalivirrat, khk-päästöt ja ympäristövaikutukset
- SULCA (VTT), GaBi (thinkstep) ja SimaPro (PRé Sustainability)
 - Maksulliset elinkaarianalyysiohjelmistot
- FINREC
 - Yhdyskuntajätevirtojen tarkastelu ja toimenpiteiden vaikutus jätteen kierrätysasteeseen
- ENVIMAT
 - Taloudellisten panosten luonnonvarojen kulutus, khk-päästöt ja ympäristövaikutukset
- Kuntien khk-laskennat
 - Jätteiden käsittelyn aiheuttamat päästöt erilaisilla sektorijaoilla
- SYNERGIA, ILMARI, KEKO
 - Rakennusten materiaalitehokkuus
- PETRA (HSY)
 - Yritysten ja yhteisöjen jätemäärien vertailu, seuranta ja päästölaskenta
- Laskentamalli seudullisen yhdyskuntajätteen kierrätysasteen laskemiseksi (HSY)
 - Seudullisen yhdyskuntajätteen kierrätysaste

3.7.2 Terveysvaikutukset

Materiaalitehokkuutta edistävillä toimilla voi olla vaikutuksia terveyteen esimerkiksi ilmanlaadun muutosten tai kemikaalien käytön kautta, mutta ne voivat olla vaikeasti arvioitavissa ja sijoittua kauas tuotantoketjun alkupäähän. Materiaalien kierrättämistä tulee kehittää terveysriskit huomioiden niin, että haitalliset aineet eivät kierrä uusiin tuotteisiin. Materiaalitehokkuuden parantamistoimiin osallistumisella voi olla ihmisille myönteisiä psykososiaalisia vaikutuksia.

Mallit ja työkalut:

- IHKU (SYKE)
 - Ilmansaastepäästöjen terveyshaittakustannukset
- FRES (SYKE)
 - Ilmansaasteiden ja khk-päästöjen sekä pienhiukkasten leviämisen ja ilmanlaatuvaikutusten alueellinen skenaariomallinnus

- ENVIMAT (SYKE)
 - Materiaalivirtojen vaikutukset pienhiukkasiin, ylä- ja alailmakehän otsonin muodostumiseen, toksisuusvaikutukset ihmiseen

3.7.3 Luontovaikutukset

Materiaalien tehokkaammalla käytöllä, talteenotolla, kierrätyksellä ja uudelleen käytöllä vähennetään luontoon ja vesistöihin kohdistuvaa ilmansaasteiden, ravinteiden ja haitallisten aineiden kuormitusta tuotteiden koko elinkaaren aikana. Neitseellisten raaka-aineiden oton vähentämisellä on merkittävät vaikutukset tuotantoketjun alkupäässä.

Malli ja työkalut:

- ENVIMAT
 - Suomen luonnosta otettujen ja Suomeen tuotujen materiaalien käsittelystä aiheutuvat ympäristövaikutukset
 - Happamoituminen, rehevöityminen, ekotoksisuus ja luonnon monimuotoisuus
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset materiaalivirrat ja ympäristövaikutukset (mm. happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja savusumu)
- MOTTI/SuojeluMOTTI (Luke)
 - Puuston kehityssennusteet, talousmetsän kustannukset ja hyödyt verrattuna suojeluun
 - Hiilinielut
- LLR, INCA, VEMALA
 - Vesistö- ja kuormitusvaikutukset,
- Maaperämallit (YASSO, Luonnikas, ESLAB) ja metsämallit (MELA, MOTTI)
 - Metsien käytön vaikutukset maaperän hiilitaseeseen, metsätalouteen ja hiilinieluihin
- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus

3.7.4 Taloudelliset vaikutukset

Kiertotalouden edistäminen luo uusia työpaikkoja, uutta liiketoimintaa ja parhaimmillaan kustannussäästöjä. Kiertotalouden arvioidaan tuottavan Suomessa ainakin 1,5–2,5 miljardin euron kasvun bruttokansantuotteeseen vuoteen 2030 mennessä. Suurin arvopotentiaali on materiaali- ja jätevirroissa, laitteiden huollossa, uudelleenkäytössä ja uudelleenvalmistuksessa. (Circwaste 2019)

Jakamistalouden toimintaedellytyksiä parantamalla voidaan välttyä uusien tavaroiden ostamiselta ja saadaan jo hankittujen hyödykkeiden käyttöastetta nostettua. Tällä voi olla vaikutusta ihmisten kuluttamiseen ja rahankäyttöön.

Mallit ja työkalut:

- ENVIREGIO (SYKE) tämä myös
 - Työllisyys ja aluetaloudelliset vaikutukset
- LAJITEHO (SYKE)
 - Syntypaikalla erilliskerättävien jätelajien painoperusteisen hinnoittelun työkalu kunnille jätetaksan määrittelyyn.
- OpenLCA (GreenDelta) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)

- Tuotantoketjun valintojen vaikutukset arvonlisäykseen
- KUTOVA (SYKE)
 - Kustannustehokkaiden vesiensuojelutoimenpiteiden valinta

3.7.5 Sosiaaliset vaikutukset

Jakamistalouden kautta myös vähävaraiset voivat helpommin hyödyntää tuotteita, joiden hankintahinta uutena on korkea. Jakamistalous voi luoda myös uudenlaista yhteisöllistä toimintaa ja neljännen sektorin aktiivista toimintaa, joilla on usein myönteisiä sosiaalisia vaikutuksia. Kierrätysmahdollisuuksien helpottaminen voi tuottaa osallisuuden kokemuksia ja lisätä hyvinvointia. Toisaalta kiertotalouteen siirtyminen voi myös hävittää työpaikkoja, ja sen vaatimat uudenlaiset käytännöt voivat tuntua oudoilta tai vaivalloisilta.

Mallit ja työkalut:

- SISU (Tilastokeskus)
 - Kansalaisten ja kotitalouksien taloudellisen aseman tarkastelu, tuloerot ja kannustinvaikutukset
- Ohjeet ja oppaat (luku 4.5.1)
- Ilmastodieetti (SYKE), Itämerilaskuri (SYKE), Materiaalijalanjälkilaskuri (Lahden ammattikorkeakoulu)
 - Kuluttajatietoisuuden lisääminen.

Toimenpide-esimerkki / Materiaalitehokkuus

”Inventoidaan harvoin käytettävät tavarat/laitteet ja luodaan alusta niiden jakamiselle kaupunkiorganisaation sisällä.” (Helsinki 2018)

Tehostetaan kalusteiden ja muun irtaimiston kierrätystä kaupungin sisällä mm. laatimalla kiertotaloutta edistävä ohjeistus toimitilojen muutto- ja muutostilanteisiin.

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Perinteisen kulutushyödykekaupan liiketoiminnan mahdollinen supistuminen
- + Kaupungin kulutuksen hiilijalanjälki pienenee
- + Neitseellisten materiaalien käyttö vähenee; myönteiset luontovaikutukset
- + Säästöt hankintakustannuksissa
- + Mahdollisesti vältettävät uuden rakentamisen aiheuttamat päästöt ja luontovai-
kutukset
- + Tuloja tilojen/laitteiden/tuotteiden vuokraamisesta
- + Liiketoiminta- ja työllistymismahdollisuuksia jakamis- ja kiertotalouspalve-
luille ja sovelluskehittäjille.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

3.8 Jätteiden käsittely

Jätteiden käsittelyn piiriin kuuluvat tässä tarkastelussa kaatopaikkakäsittelyn, kompostoinnin, mädätyksen ja jätevesien puhdistuksen prosessipäästöt. Jätteenpolttua, jätevesien hukkalämmön talteenottoa ja biokaasun tuotantoa tarkastellaan energiasektorilla.

3.8.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Jätteenkäsittelyprosessien kehityksellä voidaan pienentää sekä kasvihuonekaasupäästöjä että muita negatiivisia ympäristövaikutuksia. Kaatopaikkakaasun tehokkaalla talteenotolla voidaan pienentää merkittävästi metaanin hajapäästöjä. Myös hankalammin vähennettävissä olevilla jätevedenpuhdistuksen prosessipäästöillä on oma merkityksensä kuntien tavoitellessa hiilineutraaliutta.

Talteen otettua kaatopaikkakaasua, kuten myös biojätteistä mädättämällä tuotettua biokaasua, voidaan hyödyntää energiantuotannossa tai liikennepolttoaineena, jolloin käyttöperusteiset päästöt pienenevät. Myös hiilijalanjälki pienenee kun fossiilisia polttoaineita korvataan jätepohjaisilla vaihtoehdoilla.

Mallit ja työkalut:

- Kuntien khk-laskennat
 - Jätteiden käsittelyn aiheuttamat päästöt erilaisilla sektorijaoilla
- ENVIMAT
 - Jätehuollon ja jätevesien käsittelypalvelujen luonnonvarojen kulutus, khk-päästöt ja ympäristövaikutukset
- Ilmastodieetti (SYKE)
 - Yksityishenkilön hiilijalanjälki
- PETRA (HSY)
 - Yritysten ja yhteisöjen jätemäärien vertailu, seuranta ja päästölaskenta
- Laskentamalli seudullisen yhdyskuntajätteen kierrätysasteen laskemiseksi (HSY)
 - Seudullisen yhdyskuntajätteen kierrätysaste

3.8.2 Terveysvaikutukset

Kaatopaikkakaasun talteenotto sekä kompostoinnin ja biokaasuntuotannon prosessien kehittäminen vähentää hajuhaittoja jätteenkäsittelylaitosten ympäristössä. Myös jätteenkäsittelyalueiden kattaminen vähentää hajuhaittoja ja roskaantumista.

Mallit ja työkalut:

- FRES (SYKE)
 - Ilmansaasteiden ja khk-päästöjen sekä pienhiukkasten leviämisen ja ilmanlaatuvaikutusten alueellinen skenaariomallinnus

3.8.3 Luontovaikutukset

Jätteenkäsittelyprosesseja kehittämällä voidaan vähentää ravinteiden ja haitallisten aineiden päätymistä luontoon ja vesistöihin. Roskaantumisen vähentämisellä on niin ikään myönteisiä luontovaikutuksia.

Mallit ja työkalut:

- KUSTAA, VEMALA, INCA
 - Vesistövaikutukset
- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus

3.8.4 Taloudelliset vaikutukset

Jätteiden käsittelyn toimenpiteiden voidaan ajatella vahvistavan jätealan edelläkävijyyttä ja houkuttelevan osaamista alueelle. Alan teknologioilla ja palveluliiketoiminnalla on huomattava vientipotentiaali etenkin kehittyvissä maissa. Eri jätelajien erilliskeräyksen tehostuessa tarvitaan investointeja uusiin käsittelylaitoksiin. Jätteenkäsittelymaksut voivat kallistua kun käsittelyä kehitetään ja tehostetaan entistä ympäristöystävällisemmäksi.

Mallit ja työkalut:

- ENVIREGIO (SYKE)
 - Työllisyys ja aluetaloudelliset vaikutukset
- LAJITEHO (SYKE)
 - Syntypaikalla erilliskerättävien jätelajien painoperusteisen hinnoittelun työkalu kunnille jätetaksan määrittelyyn
- OpenLCA (GreenDelta) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun valintojen vaikutukset arvonlisäykseen
- KUTOVA (SYKE)
 - Kustannustehokkaiden vesiensuojelutoimenpiteiden valinta

3.8.5 Sosiaaliset vaikutukset

Jätteenkäsittelytekniikoiden parantuessa käsittelystä aiheutuvat prosessipäästöt voivat vähentyä, mikä taas saattaa parantaa asuinalueiden viihtyisyyttä ja lähistöllä asuvien ihmisten elämänlaatua. Toisaalta ihmiset eivät yleensä halua asua mahdollisten uusien jätteenkäsittelylaitosten läheisyydessä.

Mallit ja työkalut:

- Ohjeet ja oppaat (luku 4.5.1)
- Ilmastodieetti (SYKE), Itämerilaskuri (SYKE), Materiaalijalanjälkilaskuri (Lahden ammattikorkeakoulu)
 - Kuluttajatietoisuuden lisääminen.

Toimenpide-esimerkki / Jätteiden käsittely

”Selvitetään suljettujen kaatopaikkojen kaatopaikkakaasun lisätalteenotto- ja hyödyntämismahdollisuudet Helsingin alueella hyödyntäen aiempia selvityksiä.” (Helsinki 2018)

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Toimenpiteiden kustannukset kaupungille
- + Metaanin hajapäästöt vähenevät
- + Energiankäytön khk-päästöt vähenevät, kun kaatopaikkakaasun hyödyntäminen tehostuu
- + Kustannussäästöt polttoainehankinnoissa
- + Hajuhaitat vähenevät.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

3.9 Koulutus ja viestintä

Koulutuksella ja viestinnällä tarkoitetaan kaupunkien omaa ilmastoasioiden sisäistä ja ulkoista viestintää, varhaiskasvatuksessa, kouluissa ja oppilaitoksissa tapahtuvaa nuorten ja lasten koulutusta sekä esimerkiksi isännöitsijöiden koulutusta liittyen ilmastonmuutokseen ja päästöjä vähentäviin toimenpiteisiin.

Koulutus ja viestintä ovat keskeinen tekijä ilmastomyönteisen asenne- ja investointi-ilmapiiirin luomisessa, ja siten avainasemassa ilmasto-ohjelmien jalkauttamisessa ja tavoitteiden toteutumiseen vaadittavien yhteiskunnallisten muutosten mahdollistajana.

3.9.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Koulutuksella ja viestinnällä pystytään parantamaan ympäristötietoisuutta sekä parantamaan kestävä kehityksen yhteiskunnan tiedollisia edellytyksiä. Isännöitsijöiden sekä huoltohenkilöiden kouluttamisella voidaan edistää olemassa olevien rakennuksien energiatehokkuutta ja materiaalien kierrätystä. Asukkaille voidaan tiedottaa esimerkiksi aurinkopaneelien asentamisesta ja lisätä hajautettua, päästötöntä energiantuotantoa. Koulutuksen ja viestinnän vaikutus khk-päästöihin on välillinen eikä suoraan mitattavissa.

Mallit ja työkalut:

- Kuntien khk-laskennat
- ENVIMAT (SYKE)
 - Kulutusmenoihin perustuva elinkaarinen khk-päästölaskenta palvelu-/tuote-luokittain
- Ilmastodieetti (SYKE), Ilmastolaskuri (WWF) ja Elämäntapatesti (Sitra)
 - Yksityishenkilön hiilijalanjälki, ja parannusvaihtoehtoja
- JUHILAS
 - Julkisten hankintojen hiilijalanjäljen laskenta
 - IT-, paperi-, toimistotuoli-, ulkovalaistus-, hygieniatuotelaskurit
- OpenLCA (GreenDelta/avoin) ja CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)
 - Tuotantoketjun elinkaariset khk-päästöt.

3.9.2 Terveysvaikutukset

Kansalaisten terveys voi ilmastoviestinnän ansiosta parantua merkittävästi välillisten vaikutusten kautta, esimerkiksi liikkumisen tai ravitsemustottumusten muutosten seurauksena. Tietoisuuden kasvu voi lisätä merkityksellisyyden kokemusta ja parantaa henkistä hyvinvointia tai toisaalta aiheuttaa stressiä ja ahdistuneisuutta. Terveysteen liittyviä vaikutuksia voidaan tarkastella erilaisten indikaattoreiden avulla.

Mallit ja työkalut:

- Hyvinvointikompassi (THL)
 - Alueellisen hyvinvoinnin seuranta kuntien, maakuntien ja sairaanhoitopiirien johtamisen ja suunnittelun tueksi
- Sotkanet.fi (THL)
 - Hyvinvointia, terveyttä ja palvelujärjestelmää koskevaa tilastotietoa
- TEA-viisari (THL)
 - Kunnan terveyden edistämisasiivisuus sitoutumisen, johtamisen, terveysseurannan ja tarveanalyysin, voimavarojen, yhteisten käytäntöjen ja osallisuuden kautta
- Terveyspuntari (KELA)
 - Väestön alueelliset sairastavuuserot

3.9.3 Luontovaikutukset

Koulutus- ja viestintätoimenpiteillä voidaan saavuttaa merkittäviä myönteisiä muutoksia ympäristön tilaan välillisten vaikutusten kautta, aktivoimalla ihmisiä, yrityksiä ja yhteisöjä valitsemaan ilmasto- ja luontoystävällisiä toimintatapoja.

Mallit ja työkalut:

- Itämerilaskuri (SYKE)
 - Yksityishenkilön vesistökuormitus
- Ilmastodieetti (SYKE)
 - Yksityishenkilön hiilijalanjälki

3.9.4 Taloudelliset vaikutukset

Koulutus- ja viestintätoimenpiteillä voi olla vaikutuksia aluetalouteen ja kaupunkilaisten henkilökohtaiseen talouteen välillisten vaikutusten kautta. Koulutuksien ja monipuolisen viestinnän järjestämisessä on myös suoraan työllistymispotentiaalia.

3.9.5 Sosiaaliset vaikutukset

Ihmisten tiedot ilmastosta, ympäristöstä ja omista vaikutusmahdollisuuksista paranevat. Ilmastokansalaisuuden käsite vahvistuu. Yhteisen tavoitteen eteen ponnistelu voi lisätä sosiaalista yhteenkuuluvuutta.

Toimenpide-esimerkki / Koulutus ja viestintä

”Vahvistetaan ilmastomuutoksen hillintätoimien ja kiertotalouden osaamisen osuutta opetussuunnitelmissa ja yleensä koulutyössä. Kehitetään opettajien osaamista.” (Helsinki 2018)

Yleisiä arvioita vaikutuksista:

- Koulutusten ja osaamisen kehittämisen kustannukset
- Mahdollinen ilmastoahdistus ja stressi tietoisuuden parantuessa
- + Ilmasto-osaamisen ja osallisuuden kasvu; merkityksellisyyden kokemus ja hyvinvointi
- + Kkh-päästöt laskevat välillisesti
- + Osaamisen ja työn tarjonta pitkällä aikavälillä; tulevaisuuden vihreät työpaikat.

Toimenpide-esimerkkien arviointi on KILTOVA-työryhmän näkemys, eikä perustu arviointimalleilla tai -työkaluilla tuotettuihin tietoihin.

4 Olemassa olevat arviointityökalut

Ismo Hämäläinen, Johannes Lounasheimo, Jyrki Tenhunen, Niko Karvosenoja, Hannu Savolainen ja Ari Nissinen

Tässä luvussa kuvaillaan vaikutusten arviointiin sovellettavissa olevia malleja ja työkaluja eri sektoreihin jaoteltuna. Mallit ja työkalut on kategorisoitu niiden pääasiallisen käyttötarkoituksen perusteella. Saman ilmiön tarkasteluun voi olla tarjolla useita, laskentaperiaatteiltaan toisistaan poikkeavia, malleja ja toisaalta yksi malli voi tuottaa arvioita monista erilaisista vaikutuksista. Tässä selvityksessä on painotettu malleja, jotka ovat julkisia ja vapaasti käytettävissä. Tärkeimpien mallien keskeisistä sisällöistä on sanalliset kuvaukset, mukaan lukien arvio käytön vaatimustasosta. Käytettävyyteen vaikuttavat etenkin mallin avoimuus, käyttöliittymä, dokumentaatio, ylläpito ja päivitettävyyden hinta. Arviota tukevat mahdolliset esiin tulleet kokemukset tutkimusraporteista sekä SYKEN asiantuntijoiden kanssa käydyistä keskusteluista. Nykyisessä muodossaan suuri osa malleista vaatii syvää asiantuntemusta, mikä tarkoittaa käytännössä kaupunkien ja asiantuntijaorganisaatioiden välistä yhteistyötä. Malleja on kartoitettu sen mukaan miten ne voisivat olla käytettävissä osana yhteistä kaupunkien ilmasto-ohjelmien KILTOVA-arviointityökalua. Tällaisen kokoavan työkalun kehittämismahdollisuuksia käsitellään luvussa 5.

Kaupunkien ja työkaluja kehittävien konsulttien suhteessa ongelmalliseksi koetaan KILTOVA-hankkeessa pidettyjen työpajojen perusteella se, että kaupungeille jää vaikutusarvioinneista pelkät tulokset. Sen sijaan itse malli ei jää kaupunkien jatkokäyttöön eikä mallin laskentaperiaatteistakaan usein saada dokumentaatiota. Ongelmana on myös se, että mallien eroista käytettävyyden ja luotettavuuden suhteen ei ole tehty riittävästi vertailua. Avoimia malleja käyttämällä vältetään osalta näistä ongelmista.

Yleistäen voidaan sanoa vapaasti käytettävien mallien olevan helppokäyttöisempiä kuin tutkimusryhmien käytössä olevien prosessipohjaisten mallien. Tässä raportissa helppokäyttöisimmiksi on arvioitu työkalut, joilla on käyttöliittymä ja kattava ohjeistus. Myös maksullisia malleja on otettu tarkasteluun mukaan, jos niiden käyttö on yleistä eikä julkista ja ilmaista vaihtoehtoa ole. Monet malleista pystyvät käyttämään toisten mallien tuottamia tietoja hyväkseen tai tuottamaan lähtötietoja toisille malleille. Mallien ketjuttamista tehdään jo etenkin sektorien sisällä, mutta myös sektorirajojen yli. Laskureiden teknistä yhdistämistä arvioidaan yleisesti luvussa 5.

Tätä raporttia varten SYKEN sisällä tehdyissä asiantuntijahaastatteluissa nousi esiin samankaltaisia näkemyksiä, joita on esitetty jo vesistömallien TOIMI-raportissa (Tattari ym. 2017). Kaupungit tarvitsevat sitä enemmän asiantuntemusta ja mallittaja-apua, mitä tarkempi käytettävä malli on. Yksinkertaiset, laskurityyppiset mallit ovat helppokäyttöisempiä, mutta niiden laskentaan voi sisältyä merkittäviä yleistyksiä. Laskurit antavat kuitenkin suuntaa ilmiön vaikutuksen suuruudesta, ja niiden pohjalta voidaan tehdä tarkempia tarkasteluja. Laskurien ongelmia ovat muun muassa se, että niiden laskentaperiaatteet vaihtelevat merkittävästi, ja niiden laatu ja ylläpito eivät välttämättä ole riittäviä. Osa laskureistakin vaatii laajaa asiantuntemusta. Monimutkaisten luonnonilmiöiden yksinkertaistaminen helppokäyttöiseen laskurimuotoon ei välttämättä tuota relevantteja tuloksia. Yksityiskohtaisissa malleissa puolestaan tarvitaan tietoa itse ilmiöistä ja syvällistä ymmärrystä eri mallien ja prosessien välisistä kytkennöistä sekä välillisistä vaikutuksista.

Haastatteluissa nousi esiin ajatus keskitetystä laskennasta, jolloin kuntien laskenta olisi aina vertailukelpoista. Ajatus on sovellettavissa myös muille sektoreille. Tällöin ei välttämättä tarvittaisi uutta työkalua, vaan resurssit suunnattaisiin olemassa olevia malleja hyödyntävään asiantuntijatyöhön. Vesistömallien kohdalla sopivimmat mallit eri tarpeisiin ja kohteisiin on TOIMI-raportin (Tattari ym. 2017) mukaan saatavissa vain perustamalla tarpeesta huolehtiva ja mallien kehityksestä vastaava pysyväluonnon ryhmä. Mitä enemmän malleja integroitaisiin keskinäiseen käyttöön tai keskitettyyn arviointien tekoon, sitä enemmän tarvitaan asiantuntijaryhmää. Toisaalta mallien avoin kehittäminen haastaa tätä näkemystä.

Erilaisia tietokantoja, portaaleja ja sertifiointityökaluja ei ole kartoitettu kattavasti tässä työssä. Myöskään kaikkia puhtaasti kuluttajien käyttöön tarjolla olevia lukuisia laskureita ei ole kartoitettu perusteellisesti, vaikka niiden voidaan välillisesti nähdä vaikuttavan esimerkiksi informaatio-ohjaukseen. Sosiaalisten vaikutusten arvioinnin osalta on tarkasteltu erilaisia ohjeita, oppaita ja indikaattoreita. Lähes kaikilla toimenpiteillä ja malliarvioilla on suora tai epäsuora sosiaalinen ulottuvuus.

Mallien hyödynnettävyys riippuu olennaisesti laadukkaista ja kattavista lähtötiedoista. Useat mallien ongelmat johtuvat puutteellisista lähtötiedoista tai niiden keräämisen vaikeudesta. Lähtötietojen yhtenäistämiseksi on tehty, tai on käynnissä, useita erilaisia hankkeita, kuten:

- Paikkatietoalusta-hankkeessa paikkatiedot on tarkoitettu yhdistää yhdelle alustalle, jolloin niiden käyttö helpottuu.
- ESMERALDA-hankkeessa on kerätty ekosysteemipalveluihin liittyvä tutkimustieto ja menetelmät yhteen paikkaan MAES-Explorer-tietokantaan (ESMERALDA 2018).
- Metsäkeskuksen metsätietojärjestelmä sekä Metsäkeskuksen avoin palvelu Metsään.fi, joka sisältää avoimia metsätietoaineistoja. Hanke valmistuu vuonna 2020.

Suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arviointia ohjaa SOVA-laki, jonka pohjalta on tehty vuonna 2017 'Sova-lain mukaisen ympäristöarvioinnin opas' (Paldanius 2017), jonka tavoitteena on tukea laadukkaiden ympäristöarviointien tekoa. Viranomaisille on myös Ympäristöviranomaisen SOVA-ohje (Ympäristöministeriö 2017a). Eri sektoreilla on lisäksi tehty vaikutusten arvioinnin oppaita esimerkiksi sosiaalisten vaikutusten ja ekosysteemien osalta.

Ympäristövaikutusten arviointia on tarkasteltu myös IMPERIA-hankkeessa. Hankkeen loppuraportissa on suositeltu hyviä käytäntöjä vaikutusarvioinnin eri vaiheisiin. IMPERIAN tulokset ovat sovellettavissa myös SOVA-prosessiin ja muihin ympäristövaikutusten arviointeihin. Lisäksi hankkeessa kehitettiin ARVI-työkalu (luku 4.7), joka auttaa ympäristövaikutusten merkittävyyden arvioinnissa ja vaihtoehtojen vertailussa. (Marttunen ym. 2015)

Monet julkisen sektorin malleista ovat tällä hetkellä vain tutkimuskäytössä, mutta niiden avaaminen laajempaan käyttöön voisi olla mahdollista. Käytännön esteen laajennetulle käytölle aiheuttaa se, että monet malleista ovat yksittäisten henkilöiden tai pienen työryhmän käytössä. Kuitenkin mallien käytön ja niiden datan avaamiseen tulisi pyrkiä. Esimerkiksi MELA-malli on saanut merkittävän rahoituksen uudistushankkeeseen, jossa siitä ollaan kehittämässä avoimen lähdekoodin ohjelmistoa.

Tässä luvussa omiksi alakappaleikseen nostetut arviointityökalut nähdään potentiaalisina ilmasto-ohjelmien päästöarvioinnin kannalta. Työkalukappaleiden alaosa on taulukko, jossa on kuvattu arviointityökalujen tuottamat tiedot, sen tyyppi, vaativuus, dokumentaation olemassa olo, avoimuus, hinta, alusta, ajantasaisuus sekä sen hyödynnettävyys. Arviointityökalujen tyypit ovat jaettu joko työkaluun tai malliin. Työkalut ovat malleja, joille on luotu käyttöliittymä, ja mallit ovat yleensä vain tutkimusryhmän sisäisessä käytössä olevia laskentamalleja. Vaativuus on jaoteltu asiantuntijakäyttöön tai kuntien itsenäiseen käyttöön soveltuvuuden perusteella. Ajantasaisuus on arvioitu tässä työkalun tai mallin viimeisimmän päivitysvuoden perusteella. Hyödynnettävyys kuvaa sitä, onko mallia mahdollista hyödyntää jo nykyisessä muodossaan suoraan vaikutustenarvioinnissa.

Työkaluja ja malleja ei ole koekäytetty tai testattu raporttia laadittaessa, ja useissa tapauksissa mallien käytöstä ei ole olemassa tutkittua tietoa tai selostusta.

4.1 Kasvihuonekaasujen päästöt

Ilmastotoimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa keskeinen lähtökohta on vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. Erilaisten toimintojen aiheuttamia päästöjä voidaan arvioida usealla eri tavalla. Erilaiset laskentaperiaatteet voivat antaa samalle toimenpiteelle hyvinkin erilaiset tulokset. Olennainen periaatteellinen ero on siinä, tarkastellaanko suoraan toimenpiteestä aiheutuvaa, yleensä fossiilisen polttoaineen käytöstä aiheutuvaa päästövaikutusta, vai tarkastellaanko myös vaikutusketjun eri vaiheissa syntyviä,

epäsuoria ja elinkaaren aikaisia päästöjä. Erilaisia rajauksia voidaan tehdä myös eri kasvihuonekaasujen, päästölähteiden, päästöjen maantieteellisen sijainnin, päästökertoimien ja vaikutusketjujen pituuden suhteen. Varsinaisten kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi on monesti syytä arvioida toimenpiteiden vaikutuksia hiilinieluihin.

Monitahoiseen kokonaisuuteen tuo oman lisänsä toimijanäkökulma. Tarkastellaanko kunnan tai kaupungin kaikkien toimintojen päästöjä, kaupunkiorganisaation vaikutusta, vai yksittäisen kaupunkilaisen kulutuksesta aiheutuvia päästöjä? Lähtötietoina voi olla polttoaineiden kulutus ja erilaiset muut aktiviteettitiedot tai vaihtoehtoisesti rahankäyttö, mikä myös johtaa toisistaan poikkeaviin tuloksiin.

Yksittäisille toiminnoille tai toimenpiteille löytyy lähinnä yksilötason laskureita. Kunnan tai kaupungin tasolla yleisimpien ilmastotoimien päästölaskentaan ei juuri ole valmiita, päästöjen vuosiseurantaan integroitavissa olevia laskentamalleja. Kuntien khk-laskentojen laskentaperiaatteita voi kuitenkin soveltaa toimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa. Toisaalta myös kunnissa päästöjä voidaan laskea monella tavalla, jatkossa mahdollisesti myös kulutusperusteisesti.

Seuraavassa käsitellään kuntien kasvihuonekaasupäästöjen laskentamenetelmiä sekä erilaisia kulutukseen perustuvia malleja ja khk-päästöt sisältäviä elinkaariarviointiohjelmistoja. Lisäksi käydään läpi liikenteen, rakennusten ja materiaalitehokkuuden osalta työkaluja, joilla voidaan arvioida päästöihin suoraan ja epäsuorasti vaikuttavia tekijöitä.

4.1.1 Kuntien kasvihuonekaasupäästölaskennat

Kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin on kehitetty useita työkaluja ja malleja, joiden avulla voidaan laskea kuntien ja alueiden toimintaan liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Tärkeä kuntien ilmastopolitiikan ja ilmasto-ohjelmien toteutumisen seurannan työkalu on kunnan khk-päästöjen vuosiseuranta. Päästölaskentoja on tehty Suomessa 90-luvulta alkaen, mutta toiminta ei ole missään vaiheessa ollut systemaattista, ja käytössä on ollut useita, toisistaan hieman poikkeavia laskentamenetelmiä.

Yksinkertaisin tapa arvioida alueellisia kasvihuonekaasupäästöjä on tuotantoperusteinen laskenta, jossa lasketaan kaikki tietyn alueen rajojen sisäpuolella syntyvät suorat päästöt. Kulutusperusteinen laskenta perustuu puolestaan alueen kotitalouksien energian, tavaroiden ja palvelujen kulutukseen, julkishallinnon kulutukseen ja investointeihin. Päästöjen fyysisellä syntypaikalla ei tässä tapauksessa ole merkitystä, vaan tarkastelu on elinkaarista ja ottaa huomioon globaalit tuotantoketjut. Tuotanto- ja kulutusperusteisten laskentaperiaatteiden välille sijoittuu niin sanottu käyttöperusteinen malli, jossa lähtökohtana on maantieteellinen raja, mutta sähkön ja lämmön päästöt lasketaan alueen energiankulutuksen, ja jätteiden käsittelyn päästöt tuotetun jätemäärän perusteella, riippumatta siitä missä energia on tuotettu tai missä jätteidenkäsittelylaitokset sijaitsevat.

Lähtökohtaisesti kaikki tuotanto- ja käyttöperusteiset päästölaskentamallit noudattavat IPCC:n metodikkaa ja kansallisten päästöinventarioiden laskentaperiaatteita. Eroja syntyy kuitenkin esimerkiksi systeemirajauksesta eli laskennan maantieteellisestä laajuudesta (scope) ja siitä mitkä kasvihuonekaasut ja päästösektorit laskentaan sisällytetään. Myös paikallisten lähtötietojen saatavuus ja datan laatu vaikuttavat lopputulokseen. Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosten päästöt voidaan allokoida sähkölle ja lämmölle usealla eri tavalla, ja sähkön päästökertoimellekin löytyy erilaisia laskutapoja. Rakennusten lämmityksen päästöt muuttuvat sen mukaan miten esimerkiksi lämmitysöljyn kulutus arvioidaan ja käytetäänkö lämmitystarvekorjausta vai ei.

Läpinäkyvyyden, luotettavuuden, jatkuvuuden, kannustavuuden ja vertailukelpoisuuden parantamiseksi laskentamenetelmiä tulee edelleen kehittää ja yhdenmukaistaa. SYKEssä valmistellaan vuoden 2019 aikana uutta, yhteisesti hyväksyttyä käyttöperusteista laskentamallia.

4.1.1.1 SYKEN käyttöperusteinen laskentamalli (tulossa)

Uuden laskentamallin linjauksia täsmennetään vielä vuoden 2019 aikana, mutta perusperiaatteet ovat selvät. Mallilla lasketaan kunnan tai maakunnan käyttöperusteiset päästöt päästökaupparektorin kanssa ja ilman päästökauppaa. Lisäksi erikseen tuotetaan tieto kunnan päästöistä niin, että päästökauppaan

kuuluvan teollisuuden aiheuttamat päästöt eivät ole laskennassa mukana. Kasvihuonekaasuista mukana ovat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja F-kaasut.

Mallin päästösektorit ovat rakennusten lämmitys eri lämmitysmuotoineen, sähkönkulutus, tie-, raide- ja vesiliikenne, teollisuus, työkoneet, maatalous, jätteiden käsittely ja F-kaasut. Lentoliikenne, teollisuuden prosessipäästöt ja LULUCF-sektorin päästöt eivät toistaiseksi ole laskennassa mukana. Laskentaperiaatteet noudattavat WRI:n, C40:n ja ICLEI:n luoman GHG Protocolin kaupungeille suunnatun GPC-standardin (GHG Protocol 2014) BASIC-tason raportointiohjeistusta lisättynä maataloudella, verkostohävikillä ja F-kaasuilla ja pois lukien paikallinen lentoliikenne.

Tieliikenteen osalta kunnan päästöihin voidaan laskea LIISA-mallin alueperusteiset päästöt, päästöt ilman läpikulkuliikennettä tai kuntaan rekisteröityjen autojen ajosuoritteisiin perustuvat päästöt. Uusiutuvan energian tuotannosta yli oman tarpeen, ja jatkossa mahdollisesti myös muista toimenpiteistä, voidaan laskea kunnalle päästökompensatioita.

Laskentamallin tulokset, laskentakaavat ja koodit pyritään avaamaan niin, että samoja laskentaperiaatteita pystytään käyttämään kunnan vuosipäästöjen seurannan ohella myös yksittäisten toimenpiteiden päästövaikutusten arvioinnissa.

SYKEssä kehitetään laskentamallin ja sen tulosten pohjalta kunnille ja alueille yksilöllisesti soveltuva skenaariotyökalu, jolla voidaan arvioida tulevaa päästökehitystä ja toimenpidekokonaisuuksien päästövaikutuksia. Työkalu lisää ymmärrystä siitä minkä suuruisia muutoksia ilmastotavoitteisiin pääseminen vaatii.

Taulukko 1. SYKE:n käyttöperusteinen laskentamalli.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt, energiankulutus	Malli	Vaativa	Tulossa	Pääosin avoin data ja lähdekoodi	Ilmainen	SQL, R, Excel	2019	Kuntatason laskenta, ei soveltu yksittäisille toimenpiteille

4.1.1.2 KASVENER (SYKE)

Tunnetuin suomalainen alueellinen kasvihuonekaasupäästöjen laskentamalli on Suomen Kuntaliiton ja Suomen ympäristökeskuksen kasvihuonekaasu- ja energiatasemalli Kasvener, jonka ensimmäinen versio kehitettiin jo vuonna 1997 kuntien ilmastonsuojelukampanjaa varten. Kasvenerillä päästöt voidaan laskea joko tuotanto- tai kulutusperusteisesti. Kasvenerin yhteydessä kulutusperusteisuus tarkoittaa energiankulutusta, ei muuta tuotteiden tai palveluiden kuluttamista.

Kasvenerin excel-malli on ollut veloituksetta kaikkien kuntien käytettävissä. Energiasektorilta malli laskee varsinaisten kasvihuonekaasujen lisäksi myös päästökomponentit, joilla on vaikutusta paikalliseen ilmanlaatuun tai jotka ovat välillisiä kasvihuonekaasuja. Mallin laskennassa noudatetaan IPCC:n metodiikkaa ja käytetään Suomen päästöinventaariorien laskentaparametreja.

Kasvenerissä päästöt jaetaan kansallisen päästöinventaarion mukaisesti neljälle sektorille: energiaan, teollisuuden prosesseihin, maatalouteen ja jätehuoltoon. Lopputuloksena saatavassa tuotantoperusteisessa päästöraportissa energiasektori on jaettu edelleen sähköntuotantoon, kaukolämpöön, erillislämmitykseen, teollisuuden lämpöön, muuhun polttoaineeseen ja liikenteeseen. Vastaavat alakategoriat kulutusperusteisessa raportissa ovat muu sähkö, kaukolämpö, sähkölämmitys, erillislämmitys, muu polttoaine ja liikenne. Jälkimmäinen sektorijako on omaksuttu Suomessa myöhemmin käytettyihin laskentamenetelmiin.

Keskeiset erot muihin laskentamalleihin liittyvät sähkön päästöjen kulutusperusteiseen laskentaan, jossa priorisoidaan paikallista tuotantoa, sekä CHP-laitosten päästöjen jyvittämiseen sähkölle ja

lämmölle. Nykyisin yleistyneen hyödynjakomenetelmän sijaan Kasvenerissä käytetään sovellettua energiamenetelmää, jossa lämmöntuotannon hyötysuhteeksi on lukittu 90 prosenttia.

Kasvenerin yhteydessä tehtyä kehitystyötä hyödynnetään SYKEN uudessa, käyttöperusteisen mallissa.

Taulukko 2. KASVENER.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentointi	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajantasaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt, energiankulutus	Laskuri	Vaativa	On	Avoim	Ilmainen	Excel	Ei ajantasalla	Ei

4.1.1.3 CO2-raportti (Benviroc Oy)

CO2-raportti on laajassa käytössä oleva yksityinen ja maksullinen kuntien päästölaskenta- ja raportointipalvelu. Se tarjoaa asiakaskunnille vuosittaisen raportin kunnan päästötaseesta sekä päästöjen viikko-seurannan.

CO2-raportin seuraamia kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, dityppioksidi sekä metaani. Raportin peruspalvelu koostuu seuraavista sektoreista: kuluttajien sähkönkulutus, teollisuuden sähkönkulutus, kaukolämpö, sähkölämmitys, maalämpö, erillislämmitys, tieliikenne, maatalous, jätehuolto. Lisäksi kunnalle voidaan laskea esimerkiksi teollisuuden ja työkoneiden päästöt, lento-, vesi- ja raideliikenteen päästöt, maankäyttösektorin päästöt ja nielut sekä lämmitystarvekorjatut päästöt. (Benviroc 2018)

CO2-raportti noudattaa Covenant of Mayors -ilmastositoumuksen SEAP/SECAP Guidebook -ohjeen (Bertoldi 2018) laskentaperiaatteita ja on energiankulutusperusteinen (scope 2). CHP-laitosten päästöjen jyvittämiseen käytetään hyödynjakomenetelmää, ja sähkölle lasketaan kuukausittainen päästökerroin. Malli on hyvin yhtenevä SYKEN käyttöperusteisen laskennan kanssa.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 3. CO2-raportti.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentointi	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajantasaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt	Aineisto	Ei tiedossa	Ei	Ei	Maksullinen	Ei tiedossa	2019	Kuntatason raportointi, ei sovellu yksittäisille toimenpiteille

4.1.1.4 HSY:n laskennat

Pääkaupunkiseudun vuonna 2007 valmistuneen ilmastostrategia 2030:n laatimisen yhteydessä kehitettiin Kasvenerin pohjalta Hilma-menetelmäksi kutsuttu päästölaskentamalli. Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY vastaa pääkaupunkiseudun kuntien kasvihuonekaasupäästöjen laskennasta ja ilmastostrategian toteutumisen seurannasta.

Tärkeimmät Hilma-menetelmään tuodut uudistukset olivat hyödynjakomenetelmän soveltaminen CHP-laitoksille sekä keskimääräisen valtakunnallisen sähkön päästökertoimen käyttö sähkönkulutuksen

päästöjen laskennassa. Lämmityssähkölle laskettiin lisäksi oma, muuta sähkönkäyttöä korkeampi kerroin. HSY:n mallissa sähkönkulutus jaetaan kulutussähköön ja lämmityssähköön.

HSY:n menetelmään kuuluu myös trenditasoitusten käyttäminen. Sähköntuotannon vuosivaihtelujen vaikutuksen tasaamiseksi sähkön päästökertoimesta otetaan viiden viimeksi kuluneen vuoden keskiarvo. Lämmönkulutuksen poikkeamia tasattiin aluksi lämmitystarvekorjauksella, mutta tästä on siirrytty niin ikään viiden vuoden keskiarvoon.

Jätteiden käsittelyn kaatopaikkapäästöjen ja jätevedenpuhdistuksen osalta päästöt eivät perustu jätemääriin, vaan HSY:n omiin mittauksiin Ämmässuon kaatopaikalla ja jätevedenpuhdistamoilla. Myös erillislämmityksen kulutuksen ja työkoneiden polttoaineen kulutuksen arvioiminen poikkeavat hieman muista Suomessa käytetyistä laskentamenetelmistä. Liikenteestä on mukana lentoliikennettä lukuun ottamatta kaikki liikennemuodot.

GPC-standardin viitekehysessä HSY:n malli on BASIC-tason laskenta lisättynä maataloudella ja verkostohäviöillä, ja ilman paikallista lentoliikennettä. Lisätietoja Lounasheimo (2009).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 4. HSY:n laskennat.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt, energiankulutus	Malli	Vaativa	On	Ei	Ei tiedossa	Excel	2019	Kuntatason laskenta, ei sovellu yksittäisille toimenpiteille

4.1.2 Elinkaariarviot ja kulutusperusteiset laskentamallit

Toimenpiteiden ilmastovaikutukset on usein perusteltua arvioida kulutusperusteisesti, tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt arvioimalla. Kun seuranta ei rajoitu kunnan tai kaupungin maantieteellisiin rajoihin ja khk-päästöjen vuosiseurannan vakiintuneisiin menetelmiin, saadaan toimenpiteiden ilmastovaikutuksista täydellisempi kuva. Toimia voi tällöin myös kohdentaa ilmaston kannalta tehokkaammin.

Kulutusperusteisia päästölaskureita voidaan kohtuullisen helposti kehittää kuvaamaan yksilön valintojen vaikutuksia. Monissa tapauksissa myös kunnissa toteutettavien toimenpiteiden vaikutuksia voidaan olemassa olevilla elinkaarimalleilla arvioida helpommin kuin kuntatason khk-laskennoilla. Lisäksi mallit antavat tuloksia päästöjen ohella myös muissa vaikutusluokissa.

Kunnan tai kaupungin koko hiilijalanjäljen laskeva kulutusperusteinen malli on vielä kehityskohde, mutta mahdollinen toteuttaa. Kunnan hiilijalanjälki voidaan määritellä seuraavasti: yhteenlasketut globaalit kasvihuonekaasupäästöt, jotka syntyvät loppukulutuksen edellyttämien tuotteiden ja palveluiden tuottamisesta ja käytöstä. Loppukulutus sisältää kotitaloudet, julkishallinnon ja pääomainvestoinnit. (Peters & Solli 2010). Tällaisen laskennan keskeinen elementti on ympäristölaajennettu panos-tuotosmalli, Suomessa ENVIMAT.

4.1.2.1 ENVIMAT (SYKE)

ENVIMAT-malli on Suomen kansantalouden ympäristölaajennettu panos-tuotosmalli, jolla voidaan arvioida kotimaisen tuotannon ja kulutuksen ympäristökuormitusta Suomessa ja ulkomailla. Malli sisältää myös yksityiskohtaiset tiedot talous- ja työllisyysvaikutuksista. Mallin lähtökohta on 151 toimialan

panos-tuotostaulukko, jossa on taustalla 918 kotimaista tuotetta tai palvelua ja 722 tuontituotetta tai -palvelua käsittävä kokonaisuus. Lisäksi mallissa hyödynnetään kansantalouden yleistä tilipitoa käyttö- ja tarjontataulukkoineen, näiden pohjalta tehtävää tuotevirtojen panos-tuotosanalyysia, tuotteiden elinkaariarvioinnin tekniikkaa ja tietopankkeja. Mallissa ei tarkastella Suomen vientituotteiden ympäristövaikutuksia ulkomailla. (Seppälä ym. 2009)

ENVIMAT sisältää toimialoittaiset arviot seuraavista kotimaan päästöistä ilmaan:

- Konventionaaliset päästöt
 - CO₂, N₂O, CH₄, SO₂, NO_x, NH₃, NMVOC, CO
- Metallit
 - As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, V
- Hiukkaspäästöt
 - TSP, PM₁₀, PM_{2.5}
- Muut haitalliset yhdisteet
 - bentseeni, PAH, DF, HF, HCL, H₂S, otsonia tuhoavat aineet
- F-kaasut.

ENVIMAT kattaa seuraavat ympäristövaikutusluokat:

- Ilmastonmuutos
- Ylä- ja alailmakehän otsonin muodostuminen
- Happamoituminen
- Rehevöityminen
- Ekotoksisuus
- Toksisuusvaikutukset ihmiseen
- Pienhiukkaset
- Luonnon monimuotoisuuden väheneminen

Alkuperäisessä ENVIMAT-hankkeessa kansantalouden tuotevirtojen aineistona käytettiin vuosien 2002 ja 2005 tilastotietoja. Sittemmin mallia on päivitetty vuoden 2010 ja viimeksi vuoden 2015 tiedoin. Tuorein ENVIMAT-malli sisältää 148 toimialan ja 229 tuotteen osalta seuraavat ympäristölaajennukset (Nissinen & Savolainen 2019):

- Raaka-aineiden käyttö
 - Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet, raakapuu, fossiiliset polttoaineet, metallimalmit, teollisuusmineraalit, rakennusmineraalit, maa-ainekset
- Kasvihuonekaasupäästöt
 - CO₂ bioperäinen, CO₂ fossiilinen, CH₄, N₂O ja F-kaasut
- Ilmansaasteet
 - SO₂, NO_x, NH₃, NMVOC, PM_{2.5} ja PM₁₀.

Vaikutusarviointien kannalta keskeinen osa ENVIMAT-aineistoa on kuormituskertoimet, jotka kertovat elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt ja raaka-aineiden käytön kulutushyödykeryhmittäin kulutettua euroa kohti. Mallissa on useita kymmeniä erilaisia tuoteryhmiä. Mallilla pystytään arvioimaan käytännössä kaikkien toimialojen erilaisia päästövaikutuksia melko yksityiskohtaisesti, mukaan lukien esimerkiksi liikkuminen, polttoaineiden käyttö, jätehuolto, ruoan tuotanto ja kulutus, rakentaminen, rakennusmateriaalit ja muut hankinnat. (Seppälä ym. 2009)

Mallia voi hyödyntää vaikutusten arvioinneissa usealla tavalla. Kaupunkilaisten kulutukseen kohdistuvien toimenpiteiden arvioinnissa voidaan kuormituskertoimien avulla laskea muuttuvan kulutuksen elinkaariset päästövaikutukset ja vertailla tuloksia nykytilanteeseen. Laajojen

toimenpidekokonaisuuksien vaikutuksia koko maan päästöihin pystytään arvioimaan skenaariomallin avulla. Mallin heikkoutena on koko maan mittakaava eli yksityiskohtaisten alueellisten vaikutusten arvioiminen on hankalaa.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 5. ENVIMAT.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt, raaka-aineiden käyttö, ilman-saasteet, arvonnalisä, työllisyys	Malli	Vaativa asiantuntijakäyttö	On	Ei	Toimeksianto	R ja Excel	2015	Kyllä

4.1.2.2 OpenLCA (GreenDelta)

Saksalaisen GreenDeltan pääasiassa kehittämä openLCA on kattava ilmainen avoimen lähdekoodin elinkaariarviointiohjelmisto, joka tuottaa arvioita tuotantoketjun kasvihuonekaasupäästöistä ja ympäristövaikutuksista. Ohjelma on vapaasti käytettävissä ohjelma Mozilla Public License 1.1 ehdoin, jotka eivät rajoita ohjelman käyttöä ja sallivat ohjelman muokkauksen, levityksen ja myynnin. OpenLCA:han voidaan sisällyttää niin ilmaisia kuin maksullisiakin tietokantoja.

OpenLCA-projektissa kehitetään laskentajärjestelmää ja liitännäisosiota. Liitännäisillä pystytään esimerkiksi muuttamaan LCA-tietoa eri tietomuodoista toiseen tietoa menettämättä, ja määrittelemään, laskemaan, visualisoimaan ja tulkitsemaan epävarmuutta tuotejärjestelmissä (Antikainen 2010). ARVI-tutkimuksen (CLIC Innovations 2017) perusteella OpenLCA toimii hyvin suomalaisen elinkaaritiedon julkaisun alustana.

Ohjelmistoa voidaan käyttää esimerkiksi tuotteiden elinkaaren eri vaiheiden ympäristövaikutusten tunnistamiseen, ja valita syntyvän tiedon perusteella olennaisia indikaattoreita ympäristövaikutusten mittaamiseen.

Ohjelmistossa on graafinen käyttöliittymä, joka helpottaa sen käyttöä. Ohjelmisto päivitetään usein. OpenLCA-ohjelmaa käyttäessä tietokantojen käytöstä pitää maksaa, mutta sitä voi käyttää oman datansa avulla laskurimaisella tavalla. OpenLCA on hienostuneempi ja vaikeakäyttöisempi kuin CCaLC2. Käytön vaikeudet syntyvät tietokantojen käytöstä, niiden suuresta koosta, maksuista sekä ajankäytöstä, joka kuluu yksikkömäärien laskemiseen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 6. OpenLCA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt, tietokantariippuvainen	Ohjelmisto	Helppo	On	On, lähdekoodi avoin	Ilmainen; tietokannat voivat maksaa	Java	2019, jatkuvia päivityksiä	Kyllä

4.1.2.3 CCaLC2 (Manchesterin yliopisto)

Manchesterin yliopistossa kehitetty CCaLC2 tarjoaa arvioita tuotantoketjun elinkaarisista kasvihuonekaasupäästöistä. Helppokäyttöinen ja ilmainen työkalu soveltuu esimerkiksi yritysten ja kuntien käyttöön. Työkalun avulla voidaan selvittää, missä tuotantoketjun khk-päästöjen 'hotspotit' ovat. CCaLC2 kertoo myös lisätystä arvosta tuotantoketjun eri kohdissa. Lisäksi ohjelmisto laskee muut ympäristövaikutukset ja osoittaa, miten hiilijalanjäljen muutokset vaikuttavat niihin.

Ympäristövaikutuksiin sisältyy muun muassa happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja savusumu. CCaLC2:n avulla voidaan myös tarkastella taloudellisen arvon lisäystä suhteessa hiilen lisäykseen sekä määrittää hinta hiilijalanjäljen pienentämiselle. Lisäksi laskuriin sisältyy veden käytön ja vesijalanjäljen laskenta. Ohjelmiston käyttämät metodologiat seuraavat kansainvälisesti hyväksyttyjä ISO14044- ja PAS2050-ohjeita (Grönroos ym. 2012).

Verrattuna OpenLCA-ohjelmistoon CCaLC2 on helppokäyttöisempi ja laskurimaisempi, mutta ei yhtä kattava tietokannoiltaan ja toiminnallisuuksiltaan, minkä vuoksi se soveltuisi paremmin kuntien itsenäiseen käyttöön. Tiettyjä tietokantoja voidaan käyttää ilmaiseksi vain rajatusti.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 7. CCaLC2.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt, tietokantariippuvainen	Laskuri	Helppo	On	On, vaatii rekisteröitymisen	Ilmainen; tietokannat voivat maksaa	C#, .NET, Excel	2016	Kyllä

4.1.2.4 Ilmastodieetti (SYKE)

Ilmastodieetti.fi on työkalu, jolla voi laskea henkilökohtaisen hiilijalanjäljen, eli asumisesta, liikkumisesta, ruoasta ja muiden tavaroiden ja palveluiden kulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Työkalu ohjaa kuluttajia konkreettisiin tekoihin oman hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Asumisessa tarkastellaan lämmitystä ja sähkönkulutusta sekä kodinhoidon hankintoja, liikkumisessa autoilua, joukko-liikennettä bussilla, junalla, metrolla, ja raitiovaunulla, ajoa moottoripyörällä ja veneellä, sekä laivaristeilyjä ja lentoja). Lisäksi tarkastellaan ruuan eri valintoja, jätteiden määriä ja lajittelua, sekä muita tavaroiden ja palveluiden ostoksia. Laskenta on vuositasoista. Selainpohjainen ja ilmainen laskuri on päivitetty vuonna 2019.

Ilmastodieetin laskenta on kulutusperusteista, eli siinä huomioidaan kulutettujen tavaroiden ja palveluiden päästöt riippumatta niiden maantieteellisestä alkuperästä. Laskenta on kuitenkin rajattu kotitalouksien kulutusvalintoihin. Näin ollen ulkopuolelle jää osa kotitalouksien käyttämistä palveluista, kuten julkisen sektorin ja voittoa tavoittelemattomien yhteisöjen kotitalouksille kustantamat palvelut. Laskennan tarkemmat perusteet on kuvattu ilmastodieetin verkkosivulta ladattavissa olevassa dokumentissa. (Salo ym. 2019)

Laskennan aluksi kysytään käyttäjältä taustatietoja. Niitä hyödynnetään ilmastovaikutusten laskennassa tai aineistosta tehtävissä yhteenvedoissa. Perheen tai saman kodin jakavien henkilömäärällä jaetaan esimerkiksi asumisen ja lämmityksen ilmastovaikutukset henkilöä kohden. Postinumeroa käytetään tietyissä tapauksissa lämmitystarpeen arvioinnissa. Sukupuoli, ikä ja bruttotulot eivät vaikuta laskennan tuloksiin, mutta näitä tietoja voidaan hyödyntää aineistosta tehtävissä tutkimuksissa ja yhteenvedoissa. (Salo ym. 2019)

Ilmastodieetti on esimerkki pitkään kehitetystä työkalusta. Alkuperäisestä Excel-mallista on ohjelmoitu verkkosovellus vuonna 2010. Tämän jälkeen laskentaohjelmaa ja käyttöliittymää on päivitetty useita kertoja. Käyttöliittymä uusittiin täysin vuonna 2019 ja samassa yhteydessä avattiin rajapinta muun muassa pelintekijöiden käyttöön. Ilmastodieetti palkittiin parhaana digitalisaation suunnannäyttäjänä vuonna 2019.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 8. Ilmastodieetti.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt	Työkalu	Helppo	On	Avoim-rajapinta	Ilmainen	Selain, python	2019	Kyllä

4.1.2.5 Muut

EcoBalance (VTT)

EcoBalance-arviointimalli on tarkoitettu yhdyskuntarakenteen tai sen osan, mutta tarvittaessa myös suppeamman osan kuten rakennuksen ekologisen taseen arviointiin. Ekologinen tase koostuu alueen koko elinkaaren aikana aiheutuvista energian ja raaka-aineiden kulutuksesta, päästöistä ja jätteistä. Lisäksi arvioidaan yleispiirteisesti alueiden rakentamisen ja käytön aiheuttamat kustannukset.

EcoBalance soveltuu tällä hetkellä lähinnä asiantuntijoiden käytettäväksi, mutta kehitystarpeena on tunnistettu mallin kehittäminen yleiseen käyttöön soveltuvaksi menetelmäksi. Malli on Excel-pohjainen. Kattavien lähtötietojen kerääminen on haastavaa mallin laajuuden takia, mutta se antaa kattavan kuvan ekologisesta taseesta. (Wahlgren 2017)

[Linkki verkkosivulle.](#)

CASBEE-City

Kaupungin hiilijalanjälki ja kehityksen kestävyys. Arvioi erikseen alueen sisäisen ympäristön laatua ja kasvihuonekaasupäästöjä.

[Linkki verkkosivulle.](#)

EcoCity Evaluator (Epecci Ltd)

Ecocity Evaluator on maksullinen ympäristöstrategiatyökalu kasvihuonekaasupäästöjen arvioimiseen, joka on suunnattu yrityksille ja kunnille. Ohjelman avulla voidaan määrittää tietyn alueen toiminnasta ja maankäytöstä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Työkalun uusin, aiemman Excel-työkalun pohjalta kehitetty verkkopalvelu tuotiin markkinoille vuoden 2017 alusta. Se on käytössä toistaiseksi 11 kunnassa, muun muassa Oulussa ja Turussa.

[Linkki verkkosivulle.](#)

SULCA (VTT)

SULCA on VTT:n hallinnoima, maksullinen ja kattava elinkaariohjelmisto, joka kattaa koko elinkaariarvioinnin aikaisen mallinnuksen ja laskemisen virtauskaavion rakentamisesta inventaarioanalyysiin ja vaikutusarviointeihin. Elinkaariarviointeja voidaan tehdä laajasti, eikä ohjelma ole kytköksissä vain tiettyihin teollisuuden sektoreihin. Ohjelmistolla on tehty elinkaariarviointeja muun muassa koneille ja kuljetusvälineille, konepaja-, kemian-, metsä-, kaivos- ja tekstiiliteollisuuteen sekä medialle (Kujanpää 2014).

[Linkki verkkosivulle.](#)

SimaPRO (PRé Sustainability)

Maksullinen LCA-ohjelmisto, jota voi käyttää muun muassa vastuullisuusraportoinnissa, hiili- ja vesijalanjäljen laskennassa, tuotteiden ympäristöselosteissa ja tuotesuunnittelussa sekä ympäristö- ja suorituskykyindikaattorien määrittelyssä. 14 eri tietokantaa hyödyntävää ohjelmistoa on kehitetty 25 vuotta ja käytetty yli 80 maassa. (PRé 2019)

[Linkki verkkosivulle.](#)

GaBi (thinkstep)

Maksullinen, SimaPron tavoin niin ikään laajasti käytetty LCA-ohjelmisto. GaBi:n tukemiin tietokantoihin kuuluvat muun muassa Ecoinvent, U.S. LCI sekä kehittäjien oma, noin 12 500 datasettiä käsittävä GaBi Databases. (thinkstep 2019)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Brightway2 (Chris Mutel)

Avoimen lähdekoodin LCA-ohjelmisto. Tutkimuskäyttöön, ei kovin käyttäjäystävällinen, koska vaatii python-osaamista.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Ilmastolaskuri (WWF)

Kuluttaja voi selvittää laskurin avulla, millaisia vaikutuksia kulutuskäytöksellä ja -tottumuksilla on kasvihuonekaasupäästöihin. Lisäksi WWF:n Green Office-toimistot käyttävät Ilmastolaskuria vuosittaisten kulutuslukujen raportointiin. Ilmastolaskuri sisältää energian, tieliikenteen, raideliikenteen, lentoliikenteen, vesiliikenteen, julkisen paikallisliikenteen, paperin, toimistolaitteet, toimistokalusteet ja jätteet. Laskuriin on lisätty myös sähkönkulutuksen, kaukolämmön kulutuksen, paperiostojen ja syntyneiden jätteiden vuosittainen kustannusseuranta.

[Linkki verkkosivulle.](#)

JUHILAS (SYKE)

JUHILAS on Suomen ympäristökeskuksen kehittämä työkalu julkisen hankinnan hiilijalanjäljen laskentaan. Helppokäyttöisen työkalun käyttö on maksutonta, mutta edellyttää käyttöehtojen hyväksymistä. JUHILAS sisältää Excel-pohjaiset hiilijalanjälkilaskurit ja ohjeen viidelle eri tuoteryhmälle: IT-laitteet, paperi, toimistotuolit, ulkovalaistus, hygieniatuotteet. SYKE käytti laskuria kannettavien tietokoneiden hankinnassa, niin että hiilijalanjälki oli vertailuperusteena. Työkalua on päivitetty viimeksi vuonna 2011. Laskentaperiaatteet Mattinen & Nissinen (2011).

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.1.3 Liikenne

Tie-, raide-, vesi- ja ilmaliikenteen khk-päästöt on Suomessa perinteisesti laskettu VTT:ssä LIPASTO-laskentajärjestelmällä. LIPASTOn eri osamallien tuottamat tulokset on otettu osaksi kuntien khk-päästöjen seurantaan tieliikenteen osalta sellaisenaan, ja muiden liikennemuotojen osalta soveltaen. LIPASTO tuottaa tieliikenteen kunnittaiset, alueperusteiset khk-päästöt. SYKEN käyttöperusteiseen malliin (ks. luku 4.1.1) kehitetään erikseen läpiajoliikenteen päästömallinnus. Vaihtoehtoisesti päästöt voidaan laskea kuntaan rekisteröityjen autojen kilometrisuoritteeseen perustuen.

Liikennesuunnitteluun käytettävät ohjelmistot ovat pääosin kaupallisia (luku 4.1.3.4). Isojen hankkeiden tarkastelussa käytetyin malli on EMME (Lehtonen ym. 2012).

LIPASTO sisältää myös eri liikennevälineiden yksikköpäästöt sekä arviot autokannan kehityksestä, ja sitä voi käyttää hyväksi toimenpiteiden vaikutusarvioinnissa. Myös ENVIMAT ja muut elinkaarimallit soveltuvat arviointiin (ks. luku 4.1.2). ENVIMATilla voidaan arvioida myös uusien liikennetarkaisujen vaatiman infrastruktuurin rakentamisen päästöjä.

Valmiita liikenteen päästölaskureita löytyy vain yksilötasolla. Sen sijaan erilaisia liikenteen päästövähennyksiin johtavan vaikutusketjun mallinnukseen on kehitetty vastaamaan muun muassa liikennesuunnittelun tarpeisiin.

Liikenteen kysynnän suurimmat muutokset kohdistuvat kaupunkiseuduille ja kaupunkiseutujen väliseen liikkumiseen. Tieliikenteen valtakunnalliset ennusteet voidaan viedä hanketasolle IVAR-ohjelmiston kautta. Väyläkohtaisia liikenne-ennusteita sekä vaikutustarkasteluja voidaan tehdä esimerkiksi valtakunnallisen EMME-ohjelmistossa toimivan liikenne-ennustemallin avulla. LIPASTOsta saatavat tiedot eivät ole kaikkia toimenpiteitä varten riittävän tarkkoja.

Liikenteen mallien yhteensovittamisen osalta EMME- ja IVAR-ohjelmistojen välisen tiedonsiirron kehittäminen on koettu tarpeelliseksi. Ohjelmistot voitaisiin kytkeä toisiinsa, jolloin käyttäjän ei tarvitse hallita molempien ohjelmien yksityiskohtaista käyttötapaa. Myös IVARin ja TARVAN (ks. luku 4.2.7) yhdistäminen on nähty tärkeänä kehitystoimena. (Ristikartano ym. 2011)

Yksittäisten toimien, hankkeiden tai kulkumuodon analysointi- ja laskentamalleja käytetään tyypillisesti tienpidon suunnittelussa. Strategisia malleja tarvitaan erityisesti kysyntämuutoksen arviointiin. Sijoitteluohjelmistoja käytetään liikennejärjestelmän kokonaisvaltaiseen suunnitteluun ja analysointiin. Liikenteen kysyntään vaikuttavat monet suuret toimintaympäristön muutokset, jotka heijastuvat myös liikenteen mallintamisen ja liikenne-ennusteiden laatimisen kehittämistarpeista (Särkkä ym. 2016).

Joukkoliikenteen toimivuutta ja linjavalintoja voidaan tarkastella liikenteen sijoittelumalleilla (esim. EMME). Uudenlaisia liikkumispalveluita (MaaS; Mobility as a Service) ja liikenteen yksilömallinnusta voidaan tehdä HESY-mallilla (luku 4.1.3.3) sekä siihen rinnastettavalla kaupallisella Ramboll Oy:n Brutus-mallilla. Väylien laatutekijöiden vaikutus etenkin pyöräilijöiden reittivalintoihin on tunnistettu merkittäväksi, mutta sitä ei ole huomioitu riittävästi liikennemallinnuksessa (Hillo ym. 2016).

4.1.3.1 LIPASTO (VTT)

LIPASTO on Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen 5 mallia sisältävä, Excel-pohjainen laskentakokonaisuus, jolla tuotetaan Suomen viralliset vuosittaiset päästöinventaarit EU:lle, YK:lle ja Suomen tilastoihin. LIPASTON kaikkien liikennemuotojen laskenta uudistettiin viimeksi vuonna 2015, ja tieliikenteen LIISA-malli vuonna 2018.

Vuosipäästöjen, energiankulutuksen ja ajosuoritteiden ohella LIPASTO sisältää liikennevälineiden yksikköpäästötietokannan, joka sisältää henkilö- ja tavaraliikennettä kuvastavat tie-, raide-, vesi- ja ilmaliikenteen sekä työkoneiden päästökertoimet. Vesi- ja ilmaliikenteen osalta tietokanta kattaa myös Suomen kansainvälisen liikenteen. Yksikköpäästöillä tarkoitetaan liikennevälineiden käytönaikaisia päästömääriä kuljetettua massa- tai henkilöyksikköä ja pituusyksikköä kohden (g/tonnikilometri, g/henkilökilometri). Yksikköpäästötietokanta on uudistettu vuonna 2017. (VTT 2019)

LIPASTON yksikköpäästötietoja ja inventaariolaskennan periaatteita voidaan soveltaa liikenteen ilmastotoimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa. LIPASTO laskentajärjestelmästä saadaan tieliikenteen khk-päästöt kunnittain.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 9. LIPASTO.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt, energiankulutus, suoritteet, ilmansaaste-päästöt	Malli	Käyttäjälle helppo, laskenta asiantuntijatyötä	On	Tulokset on, laskenta ei	Ilmainen	Excel	2018	Kunnittaiset päästötiedot voidaan hakea suoraan sivustolta.

4.1.3.1.1 LIISA

LIISA on LIPASTO-malliperheen tieliikenteen päästölaskentamalli, jolla lasketaan hiilimonoksidin (CO), hiilivetyjen (HC), typen oksidien (NO_x), hiukkasten (PM), metaanin (CH₄), dityppioksidin (N₂O), rikkidioksidin (SO₂), j hiilidioksidin (CO₂) vuosipäästöt. Lisäksi laskentatuloksena on polttoaineenkulutus, energiankäyttö ja urealisäaineen kulutus (AdBlue). Tulokset jaetaan eri ajoneuvotyyppeihin, mukaan lukien moottoripyörät ja mopot, ja vielä erikseen kaduille ja maanteille. Laskenta perustuu kahteen pääelementtiin, autokohtaisiin vuosisuoritteisiin (km/a) ja suoritekohtaisiin päästökertoimiin (g/km, kWh/km). Päästölaskennassa otetaan huomioon polttoaineiden biokomponentti, joka on hiilidioksidin osalta laskennallisesti nollapäästöinen.

ALIISA-autokantamalli sisältää arvion autokannan käyttövoimista ja kulutuksista ja eri kulkuneuvojen suoritteista. Maantiesuoritteiden lähtökohta on Liikenneviraston tiedot suoritteesta kunnittain ja nopeusrajoitusalueittain, mikä mahdollistaa kuntakohtaisten tulosten tuottamisen. Katusuoritteiden kokonaismäärä sen sijaan jaetaan kunnille väkiluvun perusteella, lukuun ottamatta pääkaupunkiseutua, josta on käytettävissä riittävän tarkat katuliikennesuoritetiedot. (VTT 2019)

Katusuoritteiden arviointi aiheuttaa epätarkkuutta kunnittaiten tulosten osalta ja hankaloittaa toimenpiteiden vaikutusten arviointia. Lisäksi monet kuntien ilmastotoimet kohdistuvat joukkoliikenteen edistämiseen, jota ei suoraan pystytä LIPASTON malleilla laskemaan. Myös alueperusteinen laskenta on koettu monessa kunnassa epäoikeudenmukaiseksi, etenkin jos kunnan läpi kulkee runsasliikenteisiä maanteitä.

4.1.3.1.2 ALIISA

ALIISA on Suomen autokannan, suoritteiden ja kulutuksen laskentamalli, jota hyödynnetään myös LIISAssa. Malli tuottaa tiedot tulevaisuuden autokannasta, suoritteista ja kulutuksista, kun automyynti, suoritteiden jakaumat ja autokohtainen kulutus on annettu. Laskenta perustuu kahteen pääelementtiin, autokantaan ja suoritteisiin. Lisäksi mukana on kulutus ja siihen liittyen polttoaineiden ja polttoainekomponenttien määrät ja hiilidioksidipäästöt.

Autokanta jakautuu henkilöautoihin, pakettiautoihin, linja-autoihin, perävaunuttomiin kuorma-autoihin ja perävaunullisiin kuorma-autoihin, joille kullekin on kahdeksan eri käyttövoimaa/tekniikkaa: bensiinikäyttöiset, korkeaseosetanoliautot (ED95), dieselautot, kaasuauto, bensiinikäyttöiset pistokehybridiautot (PHEV/BE), dieselkäyttöiset pistokehybridiautot (PHEV/DI), sähköautot ja vetyautot.

Mallin tuloksina saadaan liikennekäytössä olevien ajoneuvojen lukumäärät, suorite ja polttoaineiden kulutus ajoneuvo- ja käyttövoimatyyppittäin vuoteen 2050 asti.

4.1.3.1.3 RAILI

Suomen rautatieliikenteen päästölaskentamalli RAILI:ssa lasketaan kansainvälisen säännön mukaan sähköjuna- ja veturiliikenteelle käytönaikainen energiankäyttö ja dieseljuna- ja veturiliikenteelle energiankäyttö sekä päästöt. Päästöt lasketaan erikseen rataosille ja ratapihoille junalajeittain ja junatyypeittäin. RAILI on tarkoitettu valtakunnan tason laskentaan, mutta sillä tuotetaan myös rataosakohtaiset päästöt ja niiden avulla voidaan laskea kunnittaiset päästöt.

4.1.3.1.4 MEERI

MEERI on Suomen vesiliikenteen pakokaasupäästöjen ja kulutuksen laskentamalli, joka sisältää erikseen laivaliikenne- ja venemallit. MEERI-malli laskee seuraavien yhdisteiden määrät: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset, metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O), rikkidioksidi (SO₂), hiilidioksidi (CO₂), polttoaineen kulutus ja energian käyttö.

Venemalli sisältää erilaiset huviveneet, risteilyalukset (sightseeing), kalastusalukset, työvenet ja -alukset, lautat ja lossit. IPCC:n laskentaohjeen mukaan Suomen vesiliikenteen päästöiksi lasketaan vain kotimaanliikenteen päästöt. Laivojen ulkomaanliikenne on mallissa ja tuloksissa mukana siltä osin kuin Suomen satamiin suuntautuva liikenne kulkee Suomen talousvyöhykkeen alueella. Laivoiksi määritellään alukset, joiden bruttovetoisuus on yli 300.

4.1.3.1.4 TYKO

TYKO on LIPASTO-laskentajärjestelmään kuuluva työkoneiden päästölaskentamalli, joka koostuu kolmesta alamallista: TYKObensa, TYKOdiesel ja TYKOtraktorit. Erilaisia työkoneityyppejä mallissa on 50, sisältäen myös maastoajoneuvot kuten mönkijät. Laskentamenetelmä on pääosin sama kuin USA:n ympäristöviraston EPA:n mallissa. Menetelmää on mukautettu Suomen olosuhteisiin mm. työkoneiden iän, poistuman ym. suhteen.

TYKO ei varsinaisesti liity liikenteeseen, mutta sitä käytetään hyväksi kuntien khk-päästölaskennoissa työkoneiden osalta. Tuloksina saadaan työkoneiden lukumäärät, khk-päästöt ja energiankulutus sekä tarvittaessa ilmansaastepäästöt.

4.1.3.2 IVAR3 (Väylävirasto)

IVAR eli Investointihankkeiden Vaikutusten ARviointiohjelmisto on tiehankkeiden suunnittelun apuväline eri suunnitteluvaiheissa. IVARilla määritetään tiehankkeiden matka-aika-, onnettomuus-, ajoneuvo-, päästö- ja meluvaikutuksia ja muunnetaan vaikutukset rahamääräisiksi. Ohjelmistolla voidaan laskea tieverkon tilaa kuvaavia tunnuslukuja, tarkastella suunnitteilla olevien toimenpiteiden vaikutuksia tieverkkoon ja liikenteeseen sekä vertailla eri vaihtoehtojen vaikutuksia.

IVARilla tarkastellaan suunnitelmien erilaisia vaikutuksia, jotka ryhmitellään liikenteelliseen toimivuuteen, liikenneturvallisuuteen, ympäristövaikutuksiin sekä liikennetaloudellisiin vaikutuksiin.

Ympäristövaikutuksista malli laskee CO₂-, NO₂-, HC- ja CO-päästöt. Päästömallit on muodostettu erikseen linjaosuuksille ja liittymille. Mallit käyttävät lähtötietoinaan toimivuustarkastelujen ja polttoaineenkulutussmallien tuloksia. Lisäksi ohjelmisto sisältää melko karkeat melumallit.

Taloudellisista vaikutuksista IVAR laskee liikennehankkeen vaikutukset julkiseen talouteen polttoaine- ja arvonlisäverojen osalta sekä yhteiskuntataloudellisista kustannuseristä aika-, ajoneuvo-, onnettomuus-, päästö- ja kunnossapitokustannukset.

Nykyinen käyttäjälle näkyvä käyttöliittymä on tehty Oracle Formsilla (Oracle Developer 2000, Rel 2.1) tietokantana on Oracle 8.1.7. vuodelta 2011. IVAR-ohjelmisto on toteutettu erillisenä sovelluksena Liikenneviraston tarjoamana palveluna. Ohjelman käyttöoikeus myönnetään erikseen. Käyttäjä pääsee internetselaimen kautta etäkäyttämään ohjelmaa palveluntarjoajan palvelimelta.

Ohjelmistolla saadaan tarkkoja tuloksia, mutta samalla se teettää paljon työtä lähtötietojen määrittämisessä ja tarkistamisessa. IVAR tarvitsee esimerkiksi tieverkkojen vertailuun tiedot rakennuskustannuksista (rakennusaika, kuoletusaika, maarakennuskustannusindeksi) sekä laskentakorosta. IVARin puutteina on pidetty osin epäluotettavaa turvallisuuskalkulaattoria sekä pienten investointien analysointia. Lisäksi ylläpidon ja kehittämisen kannalta ongelmana on pidetty sitä, että suuri osa ohjelmistoon liittyvästä asiantuntemuksesta on käytännössä yhden ihmisen hallinnassa. (Ristikartano ym. 2011)

Käytännössä tutkittaessa vaikutuksia tienkäyttäjiin, IVAR voi toimia välineenä ajoneuvo- ja aikakustannusten sekä joukkoliikenteen lippumenojen laskennassa (Väylävirasto 2013).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 10. IVAR3.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentointi	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-ta-saisuus	Hyödynnettyvyys
KHK- ja muut päästöt, kustannukset, vero-vaikutukset, melu	Työkalu	Asiantuntijakäyttö	On	Ei	Ilmainen	Oracle, SQL	2017	Kyllä

4.1.3.3 HELMET ja HESY (HSL)

Helsingin seudun 14 kuntaa kattava henkilöliikennemalli HELMET 3.0 sisältää matkatuotosten, kulkutavan, matkojen suuntautumisen ja reitin valinnan mallintamisen. Malliin kuuluvat kysyntämallit sekä liikenneverkon tarjontamallit. Järjestelmässä mallinnetaan erikseen pääkaupunkiseudun kuntien, kehyskuntien ja ympäryskuntien asukkaiden tekemät matkat, alueen ulkopuolelta tuleva henkilöliikenne, lentoaseman ja matkustajasatamien henkilöliikennekysyntä ja tavaraliikennekysyntä.

HELMET on tarkoitettu ensisijaisesti eri malliskenaarioiden vertailuun, eikä sillä ole tarkoitus tuottaa absoluuttisia numeerisia arvoja matkustajamääristä. Mallista ei pidä katsoa etenkin yksittäisten joukkoliikennelinjojen matkustajamääriä, vaan vähintään tarkastella joukkoliikennekäytävän poikkileikkausta. (Sillanpää 2018)

Mallissa lähtötietoina ovat mm. alueen väestö- ja työpaikkatiedot, tutkimusten perusteella tiedot ihmisten liikkumiskäyttäytymisestä sekä liikennejärjestelmän kuvaus. Jalankulkua ja pyöräilyä käsitellään yhdessä.

HESY eli Helsingin seudun yksilömallit ovat HELMETistä edelleen kehitetty liikenteen kysyntämallikokonaisuus, joka ottaa huomioon väestöryhmien välisiä eroja liikkumistarpeissa ja -valinnoissa. Siten matkojen määrää ja liikkumisvalintoja voidaan ennustaa aiempaa luotettavammin. Yksilömallit vaativat myös käyttäjää paneutumaan siihen, millaiseen ympäristöön ja erityisesti keille tulevaisuuden liikennejärjestelmää luodaan.

HESY-mallit sisältävät väestömalleja (väestörakenne, autonomistus, henkilöauton käyttömahdollisuus) ja matkamalleja (matkatuotosmallit, matkojen suuntautumismallit, kulkutapamallit). Malleilla voidaan arvioida muun muassa joukkoliikenteen linjastosuunnitelmien, väylämuutosten tai liikenteen hinnoittelun vaikutuksia liikkumiseen ja sitä kautta välillisesti kasvihuonekaasupäästöihin.

EMME-ohjelmiston päälle rakennettu käyttöliittymä on yhteensopiva HELMET-mallien kanssa. HESY-mallien käyttö vaatii tehokkaan työaseman. Makrokieli on avoin. (HSL 2016b)

Optimaalinen mallijärjestelmä Helsingin seudulle olisi synteesi Helmet ja Hesy-malleista, jossa on pa-loja kummankin mallin parhaista puolista: Helmet-mallien helppokäyttöisyys lähtötietojen määrittelyssä ja Hesy-mallien matkaryhmittely ja henkilöauton pääasiallisten käyttäjien erottelu muusta väestöstä

suuntautumismalleista. Lisäksi mallia täydennettäisiin mm. maankäytön sijoittumisen ja matkojen ajan-
kohdan mallilla sekä pyöräliikenteen tarjonta- ja sijoittelumallilla. (HSL 2016b)

[Linkki verkkosivulle HELMET.](#)

[Linkki verkkosivulle HESY.](#)

Taulukko 11. HELMET ja HESY.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Doku- mentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-ta- saisuus	Hyödyn- nettävyys
Liikenne- määrät ja kulkuta- vat	Työkalu	?	On	Ei	?	?	HESY 2016, HELMET 2017?	Kyllä

4.1.3.4 Kaupalliset ohjelmistot

EMME (INRO)

EMME (Equilibrium Multimodale – Multimodal Equilibrium) on erityisesti liikennevirtojen sijoitteluun tarkoitettu työkalu, joka on yleisin Suomessa käytetty liikenteen sijoitteluohjelma (Rinta 2014). EM-MEn avulla voidaan mallintaa matkamääriä, matkojen suuntautumista ja matkojen kulkutapoja ja arvioida liikennejärjestelmän kehittämisen vaikutuksia joukkoliikenteen palvelutasoon ja tavoitettavuuteen. Malli soveltuu pitkän aikavälin joukkoliikennesuunnitelmien analysointiin sekä erityisesti isojen, maankäytön muutoksiltaan merkittävien hankkeiden vaikutustarkasteluihin (Haapamäki 2010).

EMME:n tarvitsemia lähtötietoja ovat muun muassa liikennöinti- ja matkustusdata, maankäytön muutokset sekä reittisuunnittelussa matkustajakysyntä ja lähtö- ja määräpaikkajakauma. Vuorokausitason henkilöliikenteen kysyntää kuvaavaan liikenne-ennustemalliin on tuotettu kuntajaosta tihennetty noin 1000-alueinen aluejako (Moilanen ym. 2014). EMME-ohjelmistolla on oma makrokieli, jota versiossa 4.0 ajetaan pythonilla. HSL:llä on jo olemassa makrotason malli EMME-järjestelmässä.

EMME on maksullinen ohjelmisto ja sisältää lisenssirajoituksia, mikä rajoittaa sen käyttöä (Rinta 2014).

Muita kaupallisia vaihtoehtoja EMME:lle ovat muun muassa Visum (PTV Group) ja TransCAD (Caliper).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 12. EMME.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Doku- mentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-ta- saisuus	Hyödyn- nettävyys
Liikenne- määrät ja kulkuta- vat	Työkalu	Vaativa	On	Ei	Mak- sulli- nen	Omat makrot, python	Kyllä	Kyllä

Brutus (Ramboll)

Brutus-simulointimenetelmä on HSL:n HESY-malleihin verrattavissa oleva, maksullinen yksilömalli, jonka avulla voidaan laatia liikenne-ennusteita. Lisäksi mallilla voidaan analysoida miten erilaiset toimenpiteet vaikuttavat liikkumiseen yksilötasolla. Brutuksen tyypillisiä käyttökohteita ovat maankäyttö- ja kaavahankkeiden liikennetuotosten arviointi ja liikenteelliset vaikutukset, palveluverkkojen suunnittelu ja vaikutukset, pyöräilyn suunnittelu ja edistäminen sekä uusien liikkumispalvelujen (MaaS) vaikutusten arviointi (Palo 2017).

Simuloinnin perustulos on yksittäisen asukkaan jokainen päivän aikana tehty matka, käytetyt kulkutavat, reitit, ajankohdat sekä viipymät kohteissa. Näistä voidaan laskea aika- ja matkasuoritteita, joista voidaan johtaa päästöihin tai liikkumisen kustannuksiin perustuvia suureita. Brutus-mallin aluejakona toimii säännöllinen 250 x 250 m ruudukko. Malli toimii ruututasolta kaupunki-, seutu- ja valtakunnan tasolle asti.

Brutus-mallia on käytetty muun muassa Lahdessa yksittäisten talouksien ja yksilöiden liikkumiskäyttäytymisen tutkimisessa (Hillo ym. 2016). Tarkempia tietoja mallista löytyy esimerkiksi julkaisuista Moilanen ym. 2014 ja Hillo ym. 2016.

[Linkki verkkosivulle.](#)

TransCAD (Caliper)

Liikennesuunnitteluohjelmisto. EMME-ohjelmistoa vastaava.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Vissim (PTV Group)

Mikroskooppisen simuloinnin liikennesuunnitteluohjelmisto (Lehtonen ym. 2012). Sopii kaupunki- ja maantieliikenteen simulointiin.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Visum (PTV Group)

Makroskooppisen simuloinnin liikennesuunnitteluohjelmisto (Lehtonen ym. 2012). Pitkälti EMME-ohjelmistoa vastaava.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Paramics (Systra)

Mikroskooppisen simuloinnin liikennesuunnitteluohjelmisto (Lehtonen ym. 2012). Sopii kaupunki- ja maantieliikenteen simulointiin.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Synchro (Trafficware)

Erityisesti liikennevalojen mallinnus.

[Linkki verkkosivulle.](#)

OpenTrack (OpenTrack Railway Technology)

Rautatieliikenteen simulointiohjelmisto.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Trips (Tma software)

Liikennesuunnitteluohjelmisto.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Hastus (Giro inc)

Ohjelmisto, jolla suunnitellaan HSL:n bussi- ja ratikkaliikenteen aikataulut.

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.1.3.5 Vähäpäästöisten ajoneuvojen julkiset hankinnat

Kaupunkien vähäpäästöisten ajoneuvovaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa on saatettu tehdä tiettyjen tarjouskilpailujen yhteydessä. Liikenteen, liikkumisen ja logistiikan esimerkillisiä hankintoja on kerätty seuraaville sivustoille. Hankinnan yhteydessä tehtyjä laskentoja ei pääsääntöisesti löydy internetsivujen kautta, mutta niitä voi kysyä suoraan kunkin hankinnan valmistelijalta.

KEINO-osaamiskeskus

[Linkki verkkosivulle.](#)

Kiertotalouskiihdyttämö

[Linkki verkkosivulle.](#)

Hankintamappi

Hankinnan asiakirjoja löytyy mm. seuraavista:

- Vaasan biokaasubussit
- Liikennepalvelujen innovatiivinen hankinta (Siuntio)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Energialoikka

Energialoikassa on 33 liikenteeseen ja liikkumiseen liittyvää esimerkkiä. Niille on laskettu sekä kustannushyötyjä että kasvihuonepäästöjen vähentymistä.

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.1.3.6 Muut

SYKEN yhdyskuntarakenteen vyöhykemalli ja päästölaskenta

SYKEN tutkimushankkeissa on kehitetty maankäytön ja liikennejärjestelmän yhdistävä vyöhykemennettelmä. Menetelmä tunnistaa jalankulkuvyöhykkeet, joukkoliikennevyöhykkeet ja autovyöhykkeen. Vyöhykkeet kuvaavat mahdollisuuksia käyttää eri liikkumismuotoja. Kriteereinä ovat etäisyys kaupungin keskustasta, joukkoliikenteen vuorotiheys sekä kävelyetäisyys pysäkille. Vyöhykkeisiin on laskettu myös tietoa asukkaiden liikkumiskäyttäytymisestä ja päivittäisten matkojen päästöistä. Liikkumisen tunnusluvut on määritetty valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen tulosten perusteella.

Tarkastelun kohteena on ollut päivittäinen liikkuminen eli alle 100 km mittaiset matkat, joihin yhdyskuntarakenteen ja paikallisen liikennejärjestelmän on nähty vaikuttavan. Vyöhykkeen lisäksi tunnuslukujen laskennassa on otettu huomioon kaupunkiseudun kokoluokka ja suurimmilla kaupunkiseuduilla on eroteltu kaupunkiseudun ydinalue ja ulompi alue. Tunnusluvut käsittävät keskimääräisen matkamäärän ja kilometrisuoritteen asukasta kohti sekä kulkumuotojakauman matkojen lukumäärän perustella. Matkasuoritteiden ja VTT:n Lipasto-aineiston kertomien perusteella on laskettu päivittäisen liikkumisen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt. Tarkemmat tiedot laskennasta Rehunen (2019).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Kestävemmän liikennejärjestelmän analysoinnin malli (SYKE)

Työkalu laskee skenaarioita ajoneuvokannan sekä liikenteen päästöjen kehityksestä. Se ottaa huomioon kysynnän ja kuluttajakäyttäytymisen muutokset, ajoneuvokannan ja sen kasvun, polttoaineen ja auton valinnan ja kysynnän sekä maankäytön muutokset ja matkustustarpeet. Malli laskee myös syntyviä khk-päästöjä.

STEAM (Ilmatieteen laitos)

Meri- ja satamaliikenteen pakokaasupäästöjen arviointimalli

[Linkki verkkosivulle.](#)

HSL:n joukkoliikenteen tietojärjestelmät

- JORE – joukkoliikennerekisteri
- HASTUS – aikataulusuunnittelu
- KOLA – liikennöintikorvausten laskentasovellus
- MUULI – muuttuneen liikenteen malli (ajamattomat vuorot, kalustomuutokset)
- Dilax – matkustajalaskentajärjestelmä
- LISSU – linjastosuunnittelutyökalu

[Linkki verkkosivulle.](#) (s.17)

HSL-developer community - [GitHub](#)

SAVU (HSL)

Saavutettavuusvyöhykkeet kertovat miten helposti ja millä kulkumuodolla alueet ovat parhaiten saavutettavissa. Helsingin seudulla yhtenäisiä eli samaan vyöhykkeeseen kuuluvia alueita on yhteensä seitsemän. SAVU-mallissa on pohjatietoina 250x250m ruudut, joille lasketaan kokonaissaavutettavuus seudun kaikista muista ruuduista. Tarkasteltavana on neljä vaihtoehtoista kulkutapaa: kävely, pyöräily, joukkoliikenne ja henkilöauto. Mallissa hyödynnetään tietoa matkojen pituusjakaumista eri kulkutavoilla sekä eri tarkoituksiin tehtävillä matkoilla. Saavutettavuusvyöhykkeet palvelevat mm. maankäytön, asumisen ja liikenteen suunnittelua ja kohdentamista. (HSY 2016)

[Linkki verkkosivulle.](#)

TALLI2015 (Tampereen kaupunki)

Liikenne-ennusteet Tampereen seudulla. Mallilla voidaan kuvata seudun asukkaiden matkustuskäyttämistä nykytilanteesta sekä ennustevuonna 2030.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Reititin (Helsingin yliopisto)

Työkalu joukkoliikennereititykseen pääkaupunkiseudulla. Työkalu on vapaasti ladattavissa. Ohjelman toiminta vaatii Node.js kirjaston lataamisen ja asentamisen. Lisätietoja: Toivonen ym. (2014).

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.1.4 Rakennettu ympäristö

Rakennuksiin ja niiden käyttöön voidaan suunnata laaja kirjo erilaisia päästöjen vähentämiseen tähtääviä toimenpiteitä. Erityisesti suuret kaupungit kasvavat edelleen jatkuvasti, mikä tarkoittaa runsaasti lisää rakentamista ja useimmiten siitä aiheutuvia suoria ja epäsuoria, esimerkiksi rakennusmateriaalien valmistamisesta aiheutuvia päästöjä. Myös rakennusten käyttö synnyttää kasvihuonekaasupäästöjä niissä kulutetun sähkön, lämmön ja jäähdytysenergian kautta. Rakentaminen ja rakennukset tuottavat noin kolmanneksen Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (Ympäristöministeriö 2017b).

Rakentaminen, rakennusten energiatehokkuus ja lämmitystavat ovat kaupunkien ilmasto-ohjelmissa keskeisiä toimenpidealueita, joille kaikille on sovellettavissa useita erilaisia arviointimalleja ja laskureita. Erityisesti rakennusten energiankulutuksen laskentaan on tarjolla suuri määrä erilaisia laskentatyökaluja. Työkaluja voidaan käyttää yksittäisen rakennuksen tasosta aina alueellisiin vaikutusarvioihin. Malleilla voidaan tehdä usein sekä suunnittelu- että käyttövaiheen arvioita.

Ilmaisia työkaluja ovat muun muassa SYNERGIA (SYKE), ILMARI (VTT) sekä E-PASS (VTT). Lisäksi markkinoilla on useita maksullisia työkaluja. Työkalut toimivat eri periaatteilla eivätkä välttämättä ole yhteismitallisia (Virkamäki ym. 2017). Yhtenäisen linjan muodostamisen ja noudattamisen tarkeyttä rakennuskantaan liittyvien laskentamallien käytössä on korostanut muun muassa Hildén ym. (2012: 17): ”Yhtä mallia käyttämällä vältetään mahdolliset päällekkäisyydet ja sekaannukset sekä varmistetaan eri laskelmien vertailukelpoisuus ja lähtötietojen yhdenmukaisuus.” Hildénin ym. (2012) mukaan yhteen malliin keskittyminen tuo etuja myös siinä suhteessa, että mallien asiantuntemusta on helpompi syventää eri organisaatioissa, jolloin rutiinilaskelmia ja skenaarioita olisi mahdollista tehdä itsenäisesti. Tällöin esimerkiksi Excel-malleja voitaisiin soveltaa ilman erillisten toimeksiantojen tarvetta ja päästökehityksen jatkuva tarkastelu olisi mahdollista, mikäli lähtötietoja on saatavilla. Myös Virkamäki ym. (2017: 16) toteaa, että ”tietoa eri työkalujen käytön laajuudesta ei ole kootusti saatavilla, kuten ei myöskään siitä, ovatko niiden taustalla olevat arviointimetodologiat toisiinsa nähden vertailukelpoisia. Työkaluista tarvittaisiin lisää luotettavaa ja vertailukelpoista tieteellistä tietoa.”

Rakennusten elinkaaren aikaisista päästöistä valtaosa syntyy käytönaikaisesta energiankulutuksesta, mihin vaikuttaa myös lämmitystapa. Tähän saakka rakennusten hiilijalanjälkeä onkin määräystasolla huomioitu ainoastaan energiatehokkuuden osalta (Virkamäki ym. 2017). Tehokkaiden päästövähennyksien saavuttamiseksi on kuitenkin huomioitava rakennusten koko elinkaari rakennustuotteiden valmistuksesta kuljetuksiin ja työmaatoimintoihin, käyttöön ja korjauksiin sekä elinkaaren lopulla tapahtuvaan purkamiseen ja kierrätykseen.

Rakennusten elinkaaren vähähiilisyys on tulossa osaksi rakennusmääräyksiä 2020-luvun puoliväliin mennessä. Vähähiilisyys on myös osa maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistusta. Ilmastovaikutusten arvioimiseksi ympäristöministeriössä valmistellaan rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmää, josta voi olla jatkossa hyötyä myös kuntien ilmastotoimien arvioinnissa. Arviointimenetelmän

ensimmäinen versio on testattavana rakennushankkeissa syksyllä 2019 (luku 4.1.4.3.). Malli pohjautuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään sekä EN-standardeihin (Ympäristöministeriö 2019).

Level(s) on vapaaehtoinen raportointikehys, jossa luodaan yhteiseurooppalainen perusta eri maissa käytettävälle rakentamisen resurssitehokkuuden ja ekologisuuden mittareille. Level(s) on myös yhteensopiva olemassa olevien kaupallisten ympäristöluokitusten eli niin sanottujen kiinteistösertifikaattien kanssa. Level(s)in periaatteiden mukainen raportointi jakautuu kuuteen mittariluokkaan, joita ovat: 1) elinkaaren hiilijalanjälki, 2) resurssitehokas materiaalien käyttö, 3) veden kulutus, 4) terveelliset tilat ja sisäilman laatu, 5) sopeutuminen ilmastomuutokseen ja 6) elinkaarikustannukset. (Ympäristöministeriö 2018)

Rakennusten ympäristövaikutukset ja kasvihuonekaasupäästöt muodostuvat merkittäviksi myös kaavoituksen ja maankäytön kautta. Kaavoituksella voidaan mahdollistaa vähäpäästöistä rakentamista ja uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämistä.

Tarkimmat tiedot rakennuksen ennakoidusta energiankäytöstä ja sisäolosuhteista saadaan käyttämällä dynaamisia simulointiohjelmia, jotka laskevat energiankulutuksen tuntitasoisesti tai vieläkin pienemmällä aikaresoluutiolla (Lylykangas ym. 2015). Tuntitason tietoa tarvitaan esimerkiksi silloin, kun lasketaan rakennuskohtaisista uusiutuvan energian tuottojärjestelmistä hyödyksi saatavaa osuutta.

Kuntien khk-päästöjen vuosiseurannassa lasketaan rakennusten käytönaikaiset päästöt joko tunnetun tai arvioitun energiankulutuksen perusteella lämmitystapa huomioiden. Elinkaarilaskureilla ja EN-VIMATilla pystytään arvioimaan muun muassa rakentamisen ja rakennusmateriaalien, mutta myös polttoaineiden käytön elinkaarisia khk-päästöjä. Ilmastodieetti (luku 4.1.2.4.) kuvaa asumisen valintojen päästövaikutuksia yksilötasolla.

4.1.4.1 EKOREM-tok ja POLIREM (SYKE)

EKOREM-tok on tehty tukemaan rakennusten energiatehokkuuden parantamista ja ilmastomuutoksen hillitsemistä. Malli tuottaa rakennuksen energiankulutuksen eriteltynä lämmön ja sähkön kulutukseen sekä energiankulutukseen liittyvät CO₂-päästöt. Muuttujina toimivat rakennuksen tekniset ominaisuudet, lämmitysmuotojen hyötysuhteet, energiamuotojen päästötiedot.

Mallin syötteitä ovat rakennuksen käyttötarkoitukseluokitus, käytössäolotilanne, rakennusvuosi, päälämmitysmuoto, kerrosala ja asukkaiden määrä. Eri-ikäisille ja -tyyppisille rakennuksille annetaan parametreina erilaisia teknisiä ominaisuuksia. Mallin käyttämät aineistot ja tietokannat ovat RHR, väestöriskikeskus, Tilastokeskuksen polttoaineluokitukset sekä lakikokoelman rakennusmääräykset.

Rakennusten sijaintia hyödyntäen voidaan tarkastella päästöjen maantieteellistä jakaumaa. Mallin avulla on tuotettu esimerkiksi rakennusten energiankulutustiedot Liiteri-palvelussa sekä kuntien kestävän kehityksen indikaattoreita. EKOREM toimii yksittäisestä rakennuksesta koko Suomen rakennuskantaan. Malli soveltuu parhaiten rakennusosien kohdistuvien muutosten vaikutusten tarkasteluun koko rakennuskannassa. EKOREM-tok on R-kielinen. Alkuperäinen EKOREM sisälsi vain energiankulutuksen ja oli Excel-pohjainen.

POLIREM-malli käsittelee koko Suomen rakennuskantaa, käyttötarkoitukseluokat ja energiamuodot eritellen. Mallin avulla skenarioidaan Suomen rakennuskannan käytön aikaista energiankulutusta ja siihen liittyviä khk-päästöjä sekä rakennuskantaan kohdistuvien politiikkatoimien vaikutusta.

Mallin keskeisimmät aineistot ovat tilastokeskuksen aineistot rakennuskannasta, korjausrakentamisesta ja energiankulutuksesta. Viimeisin tilastotieto otetaan lähtökohdaksi, jonka jälkeen huomioidaan uudistuotanto, poistuma, lämmitystapamuutokset ja korjaustoiminnan vaikutus.

POLIREM-mallissa on vähemmän teknisiä yksityiskohtia kuin EKOREMissa, mutta se ottaa yksityiskohtaisemmin huomioon pääasialliset energianlähteet. POLIREM käyttää virallisia energia- ja rakennustilastoja ja soveltuu hyvin toimenpiteiden KHK-päästöjen, uusiutuvan energian, ja päästökauppa- sekä ei-päästökauppa sektorien vaikutusten arviointiin. POLIREM soveltuu EKOREMia paremmin lämmitysmuotoihin liittyvään vaikutusarviointiin. POLIREM hyödyntää energiatilastoja mahdollisimman suoraan, se on yhteensopiva päästöinventaarion kanssa ja integroitavissa ympäristöhallinnon

tietojärjestelmiin. POLIREM on sovellettavissa kansalliselle, seudulliselle, kaupunkitasolle ja jopa kaupunginosa-tasolle. (Mattinen & Heljo 2016)

POLIREM-mallia on esimerkiksi käytetty uudisrakennuksen lämmitysenergian tarpeen vertaamisessa pientaloihin verrattuna sekä siihen, miten lämmitystavat vaikuttavat ominaiskulutuksiin (Mattinen ym. 2016).

Sekä EKOREM että POLIREM ovat osittain vanhentuneita, ja uusia malleja suunnitellaan.

[Linkki verkkosivulle](#). – EKOREM

[Linkki verkkosivulle](#). – POLIREM

Taulukko 13. EKOREM ja POLIREM.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Energiankulutus ja KHK-päästöt	Malli	Asiantuntijakäyttö	On	Ei	?	Python	2017	Kyllä

4.1.4.2 REMA (VTT)

Energiamalli REMA on bottom-up-tyyppinen fysikaalinen rakennuskannan energialaskentamalli. Rakennuskannan tuleva kehityskulku arvioidaan uudisrakentamisen, korjausrakentamisen ja purkamisen vuosittaisten määrien perusteella. Energiankulutuslaskenta perustuu rakennuskannan merkittäviä osia edustavien tyyppirakennusten käytölle. Energiamallinnus on hienorakenteisempaa REMA-työkalussa verrattuna EKOREMiin (Hildén ym. 2012). Rakennuskannan tiedot saadaan EKOREM-mallista.

REMAN avulla voidaan arvioida toimenpiteiden, esimerkiksi erityyppisten ja -ikäisten rakennusten lämmöneristysten parantamisen, lämmitystapojen muutosten tai lämpimän käyttöveden energiatarpeen puolittamisen vaikutuksia rakennuskannan energiantarpeeseen, hiilidioksidipäästöihin ja uusiutuvien energialähteiden käyttöön. Lisäksi arvioidaan taloudelliset vaikutukset BKT:hen, työllisyyteen ja ulkoiskustannuksiin. REMA palvelee erityisesti suurien rakennusmassojen energiatehokkuuden suunnittelua, mutta on sovellettavissa yksittäisiinkin rakennuksiin.

REMA on Excel-pohjainen sovellus, joka on toistaiseksi vain VTT:n käytössä, mutta tilattavissa toimeksiantopalveluna. Tarkempia tietoja mallista löytyy esimerkiksi Tuominen (2015).

[Linkki verkkosivulle](#).

Taulukko 14. REMA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Energiankulutus ja KHK-päästöt	Malli	Asiantuntijakäyttö	Väitöskirjassa Tuominen ym. (2015)	Ei	Toimeksianto, maksullinen	Excel	2016	Kyllä

4.1.4.3 Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu (YM, koekäyttö 2019)

Ympäristöministeriön johdolla kehitettävällä rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalulla voidaan laskea rakennuksen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki. Työkalu on raportin julkaisuhetkellä vielä pilotointivaiheessa. Hiilijalanjäljen arviointi kattaa rakennuksen koko elinkaaren. Siihen kuuluvat rakennustuotteiden valmistus, kuljetus ja työmaa, rakennuksen käyttö ja huolto sekä rakennuksen purku ja kierrätys. Hiilikädenjäljen arviointiin sisältyvät sellaisten ilmastovaikutusten nettohyödyt, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Näitä voivat olla rakennuksen hiilivarastot ja hiilinielut, rakennuksen elinkaaren aikana tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia sekä rakennustuotteiden uudelleenkäytön tai kierrätyksen myötä syntyvät hyödyt.

Uudisrakennuksille ja laajamittaisille korjauksille suunnattu arviointimenetelmä perustuu Euroopan komission laatiman Level(s)-menetelmään ja sen pohjana ovat eurooppalaiset kestävästä rakentamisesta koskevat standardit (mm. EN 15643 -sarja, EN 15978 ja EN 15804) sekä aiheeseen liittyvä tieteellinen tutkimus. Arvioinnissa huomioidaan koko rakennus, tontin rakenteet sekä keskeinen osa taloteknisistä järjestelmistä, mutta ei tontilla oleva kasvillisuus, maaperä tai rakentamisen väliaikaiset telineet ja suojaukset.

Ilmainen laskuri toimii Excelissä. Työkalua testataan vuoden 2019 aikana ja sitä päivitetään vuoden 2019 testijakson jälkeen. Lisätietoja: Ympäristöministeriö (2019).

Tätä YM:n arviointityökalua vastaavia työkaluja ovat olleet muun muassa VTT:n ILMARI sekä SYKE:n SYNERGIA, mutta niitä ei ole ylläpidetty. Yleisesti käytetty maksullinen vaihtoehto on esimerkiksi One Click LCA.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 15. Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumenttaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
Rakennuksen elinkaaren aikaiset khk-päästöt	Työkalu	Soveltuu kuntien itsenäiseen käyttöön	On	On	Ilmainen	Excel	2019	Kyllä

4.1.4.4 E-PASS (VTT)

Ilmaisella, rakentajien, arkkitehtitoimistojen, energiakonsulttien, taloyhtiöiden ja omakotikorjausrakentajien käyttöön suunnitellulla E-PASS-työkalulla arvioidaan korjausrakentamiseen tarpeita ja kannattavuutta. Työkalu mahdollistaa valittujen korjaustoimien investointikustannuksien, energiasäästön ja hiilijalanjäljen vertailun ennen ja jälkeen. Lähtötietoina tarvitaan joitakin rakennuksen avainarvoja, kuten rakennustyyppi, pinta-ala ja ikä, minkä jälkeen lasketaan rakennuksen nykyinen energia-arvio ennen korjaustoimia. Tämän jälkeen työkalu listaa korjaustoimia ja niiden vaikuttavuuden energiankulutukseen, päästöihin ja kustannuksiin. (VTT 2015)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 16. E-PASS.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumenttaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
Korjausrakenteen kannattavuus	Työkalu	Helppo	?	On	Ilmainen	Selain	2015	Kyllä

4.1.4.5 KEKO (SYKE)

KEKO on maankäytön suunnittelun tueksi kehitetty ekologisen kestävyys arviointityökalu. Sen avulla on mahdollista määrittää yhdyskuntien rakentamisen ja käyttövaiheen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. KEKO laskee eri suunnitteluvaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöt, luonnonvarojen käytön sekä vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin.

KEKO tuottaa arvion alueen kokonaisekotehokkuudesta ja vertaa vaikutuksia koko maan keskiarvoon. Työkalu on kehitetty erityisesti yleis- ja asemakaavojen vaikutusten arviointiin, mutta sitä voidaan soveltaa myös pelkästään rakennuksiin kohdistuvien ilmastotoimiin.

KEKOn laskenta perustuu käyttäjän syöttämiin tietoihin alueen maankäytöstä ja rakennuskannasta. Työkalu laskee annetuilla lähtöarvoilla tarkasteltavan alueen kulutukseen käytettyjen polttoaineiden suorat päästöt hiilidioksidiekvivalenteina. Rakennuskertoimia voidaan käyttää myös yksittäisten rakennusten laskelmiin. Rakennusten käytönaikainen energiantarve (sähkö, lämpö ja jäähdytys) katetaan KEKOssa ensisijaisesti paikallisella energiantuotannolla (mukaan lukien erilliset lämpökattilat ja yhteistuotantolaitokset). Laskennassa huomioidaan myös rakennusten erityyppisten materiaalien vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin ja luonnonvarojen kulutukseen.

KEKO koostuu selainkäyttöliittymästä, web-palvelusta, erillisestä laskentamoottorista ja kahdesta tausta-ajosta. Laskentamoottori on koodattu pythonilla. KEKOn käytöstä peritään käyttömaksu työkalun ylläpitokulujen kattamiseksi. KEKOn koodin lataaminen omaan käyttöön on maksutonta, mutta edellyttää käyttöehtojen hyväksymistä.

Maankäytön luontoarvoja voidaan tarkastella lisäksi tarkemmin Zonation-työkalulla (luku 4.3.9).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 17. KEKO.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-ta-saisuus	Hyödynnet-tävyys
KHK-päästöt, luonnonvarojen käyttö ja luontovaikutukset	Työkalu	Lähtötietojen kerääminen vaativaa	On	Ei	Maksullinen, maksuton ko-keilu-jakso	Selain, python	2016	Kyllä

4.1.4.6 Uusiutuvan energian julkiset hankinnat

Kaupunkien uusiutuvan energian investointien kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa on saatettu tehdä tiettyjen tarjouskilpailujen yhteydessä. Esimerkillisiä hankintoja on kerätty seuraaville sivustoille. Hankinnan yhteydessä tehtyjä laskentoja ei pääsääntöisesti löydy internet-sivujen kautta, mutta niitä voi kysyä suoraan kunkin hankinnan valmistelijalta.

KEINO-osaamiskeskus

[Linkki verkkosivulle.](#)

Kiertotalouskiihdyttämö

[Linkki verkkosivulle.](#)

Hankintamappi

Hankinnan asiakirjoja löytyy mm. seuraavista:

- Rovaniemen energiansäästötoimet ESCO-hankkeena
- Kuntien yhteishankinta: Aurinkovoimaloita leasing-mallilla julkisiin rakennuksiin

[Linkki verkkosivulle.](#)

Energialoikka

Energialoikassa on tällä hetkellä 240 rakennetun ympäristön energiantuotantoon tai -käyttöön liittyvää esimerkkiä. Niille on laskettu sekä kustannushyötyjä että kasvihuonepäästöjen vähentyminen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.1.4.7 Muut

Rakennusten elinkaariset päästöt

One Click LCA

Rakennusten elinkaariset päästöt. Tarkastelun kohteena tyypillisesti yksittäinen rakennus. Tukee myös uutta EU-tason Level(s)iä. Kaupallinen, mutta paljon käytetty. Carbon Designer-työkalulla voidaan vertailla tyyppirakennusten elinkaarivaikutuksia.

[Linkki verkkosivulle.](#)

BeCost (VTT)

Selainpohjainen elinkaarityökalu, jonka avulla voidaan laskea talorakenteiden, kalliorakenteiden sekä rakennusten, kalliotilojen ja tunneleiden ympäristövaikutuksia. Talonrakentamisen osalta voidaan laskea myös kustannusvaikutukset.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Uudis- ja peruskorjaaminen

ASKO-malli (VTT)

Asuinrakennusten korjaustarpeen ennakointimalli. Asuinrakennusrakennuskantaa käsitellään jaettuna omakotitaloihin, rivitaloihin ja asuinkerrostaloihin. Rakennusten iän ja tyyppin lisäksi otetaan huomioon myös sijainti. Rakennusosien teknisten käyttöikien perusteella lasketaan eri vuosikymmeninä korjattavaksi tulevien rakennusosien määrä ja hinnoitellaan ne sekä huomioidaan kosteusvaurioiden sekä kunnossapidon kustannukset ja esteettömyysparannukset (Nippala & Vainio 2016).

[Linkki verkkosivulle.](#)

ILMARI (VTT)

ILMARI on ilmainen, VTT:n ylläpitämä uudis- ja peruskorjaushankkeiden suunnitteluun tarkoitettu rakennustason hiilijalanjäljen arviointipalvelu. Laskentamallia käytetään nettisovelluksen kautta määrittelemällä rakennetyypit ja lataamalla määräluettelo palveluun. Kullekin käyttäjälle avataan oma käyttöliittymä, johon suunnittelija voi määrittää ja tallentaa rakennetyypit. Arviointipalvelun taustatietokannan hiilijalanjäljet on arvioitu siten, että tuotteen elinkaaresta mukaan kuuluvat seuraavat osat: 1) tuotteen valmistus, ”kehdosta tehtaan portille” 2) tuotteen kuljetus loppukäyttäjälle 3) hukka työmaalla 4) tuotteen uusiminen rakennuksen arvioidun käyttöiän aikana.

Laskenta keskittyy kasvihuonekaasupäästöiltään merkittävimpiin rakennusosiin, kuten perustuksiin, rakennusrunkoon, julkisivuihin, seiniin, päällysteisiin sekä piharakenteisiin. Laskentaa voidaan tarkentaa projektin eri vaiheissa lähtötietojen tarkennuttua. Tulokset raportoidaan luettelona, joka sisältää rakennusosakohtaisen määrätiedon ja hiilidioksidiekvivalenttimäärän. Tuloksena annetaan myös koko rakennuksen yhteenlaskettu hiilijalanjälki sekä kerrosalaa ja rakennustilavuutta kohden laskettu tulos. Lisätietoja ja tarkemmat laskentaperiaatteet Häkkinen (2011). Työkalua ei ole kehitetty vuoden 2015 jälkeen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

SYNERGIA (SYKE)

SYNERGIA Hiilijalanjälki -työkalu on laskuri, jolla voidaan arvioida rakennusten päämateriaalien ja pääarakenteiden hiilijalanjälkiä. Excel-pohjainen malli on suunniteltu yksittäisen rakennuksen tasolle. Lähtötietoina syötetään rakennusosittain materiaalit ja niiden määrät. Laskuri on ilmainen, ja avoin, mutta vaatii käyttöehtojen hyväksymistä.

Hiilijalanjäljen laskennassa ei pyritä suureen tarkkuuteen, vaan saamaan esiin suurimpia eroja, jotka johtuvat mm. rakennuksen laajuudesta ja pääarakenteiden materiaalivalinnoista. Päärakennetyypeistä huomioidaan alapohja, ulkoseinärakenteet, ikkunat ja lasiseinät, kantavat väliseinät, runko (pilarit ja pal-kit), välipohjat, yläpohja/kattorarakenteet, eristys ja yläpohjan pinnoitteet.

Ottamalla huomioon 1-3 tyypillisintä päärakenteen vaihtoehtoa ja näiden pinta-alat, lasketaan arvio päärakennetyypin hiilijalanjäljestä rakennuksessa. Kun nämä edelleen lasketaan yhteen, saadaan arvio rakennuksen pääarakenteiden hiilijalanjäljestä

SYNERGIA-työkalua on käytetty mm. Viikin SYKEN toimitalon suunnitteluun. Työkalua ei ole päivitetty vuoden 2010 jälkeen, ja soveltuu vain suuntaa antavien arvioiden tekemiseen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Rakennuksen energiankulutus

Uusiutuvan energian kuntakatselmus-työkalu (MOTIVA)

Kartoittaa uusiutuvan energian kannattavat lisäämismahdollisuudet ja mahdollistaa tulevaisuuden toimenpiteiden suunnittelun.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Apros® District (Fortum/VTT)

Simulointiratkaisu alueiden energiajärjestelmien suunnitteluun. Tukee myös alueita koskevaa päätöksentekoa ja riskiarviointia.

[Linkki verkkosivulle.](#)

IDA Indoor Climate and Energy (EQUA)

Simulointiohjelma, jonka avulla voidaan mallintaa tarkasti rakennus ja sen järjestelmät sekä säätölaitteet. Samalla voidaan parantaa energiatehokkuutta.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Talomalli (VTT)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Riuska (Olof Granlund Oy)

[Linkki verkkosivulle.](#)

SciaQPro/Simien (ProgramByggerne)

[Linkki verkkosivulle.](#)

TASE (VTT)

Consolis Energy (KTH Royal Institute of Technology in Stockholm)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Maankäyttö

ILTA-laskuri (Skaftkärr-hanke)

Päästölaskuri asemakaavoituksen yhteydessä tehtäviä, yksinkertaistettuja päästötarkasteluja varten.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Metka (VTT, Strafica Oy, 2008)

Laskentamallilla arvioitu Helsingin metropolialueen viittä aluerakennevaihtoehtoa ja niiden ekotehokkuutta vuoteen 2050 asti.

[Linkki verkkosivulle.](#)

KulMaKunta (VTT)

Väestöennusteeseen ja siitä johdettuun asuntotuotantotarpeeseen perustuva asuin ympäristön fyysisen rakenteen tuottamisen ja käyttämisen sekä liikenteen energia-, materiaali- ja päästövaikutuksien (50 vuoden ajalta) laskentamalli, joka kehitettiin KulMaKunta-hankkeessa (Perrels ym. 2006).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Sähkömarkkinoiden mallinnus

Suomen sähkömarkkinamalli (SYKE)

Suomen sähkömarkkinamalli toimii yksittäisen rakennuksen tasolla Suomen ja pohjoismaiden sähkömarkkinoilla. Mallin avulla selvitetään, miten kulutuksen ja tuotannon joustot vaikuttavat sähköjärjestelmän kustannus- ja päästötalouteen toimintaan. Tuloksia käytetään rakennusautomaatisaation vaikutusten selvittämiseen rakennus- ja sähköjärjestelmätasolla sekä kulutusjouston vaikutuksiin sähköntuotannon päästöissä.

Malli on modulaarinen, jossa rakennukset ja kuluttajat kategorisoidaan tyypeittäin. Rakennus- ja kuluttajatasen optimointitulokset vaikuttavat järjestelmätason tasapainoon, mikä puolestaan vaikuttaa yksikötason optimointiin. Iteroimalla saavutetaan yksikkö- ja järjestelmätason tasapainot.

Yksikötason aineistot saadaan kulutusaineistoista. Rakennuksia koskevat tiedot voidaan yhdistellä eri malleista, kuten EKOREMista ja POLIREMista. Sähköjärjestelmätasolla mallinnetaan erikseen päivää edeltävät ja päivän sisäiset markkinat (reservit, säätösähkö) muun muassa Fingridiin, Nord Poolin ja Energiaviraston aineistojen pohjalta.

Suomen sähkömarkkinoiden noodimalli (SYKE)

Mallissa Suomen sähkömarkkina-alue jaetaan 18 maakunta-alueeseen, joiden kulutus ja tuotanto mallinnetaan erikseen. Jokaiselle alueelle muodostetaan oma aluehinta, joka kuvaa alueellisen kulutuksen ja tuotannon välistä suhdetta ottaen huomioon tuotantokapasiteetti- ja sähkönsiirtorajoitukset. Malli sisältää yksityiskohtaiset kustannus-, kapasiteetti- ja sijaintitiedot kaikista Suomen sähköntuotantolaitoksista. Malli on kehitysvaiheessa.

Sähkön varastoinnin optimointimalli (SYKE)

Mallissa optimoidaan sähkövaraston käyttö dynaamisen ohjelmoinnin keinoin kolmella eri markkinalla (päivää edeltävä, päivänsisäinen ja säätösähkö) siten, että varaston tuotot maksimoidaan. Varaston ominaisuuksia, kuten varaston kokoa ja tehoa, voidaan optimoida. Mallissa tarkastellaan lisäksi, miten sähkövarasto helpottaa vaihtelevan sähköntuotannon, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, integrointia sähköjärjestelmään. Mallissa estimoidaan ekonometrisin menetelmin tulevaisuuden sähkön hinnat eri tuulivoimatuotannon tasoilla. Malli on valmis.

Aurinkosähkön kannattavuus pohjoisessa -malli (SYKE)

Kehitysvaiheessa olevassa mallissa lasketaan aurinkosähköinvestointien kannattavuus Pohjois-, Keski- ja Etelä-Suomessa. Mallissa optimoidaan pientalojen käyttöveden lämmitys dynaamisen ohjelmoinnin keinoin siten, että lämmitysenergian kulutus ja kustannukset minimoidaan. Aurinkosähkön käyttö varastoidaan veden lämmityksen yhteydessä.

Sähkön kulutuksen vaikutus sähkön markkinahintoihin estimoidaan ekonometrisin menetelmin. Lämmityksen optimointi muuttaa sähkön kulutusprofiilia, mikä siten vaikuttaa markkinahintoihin. Mallissa lasketaan lisäksi, kuinka paljon optimointi laskee sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjä ja tutkitaan dynaamisen sähköveron vaikutuksia aurinkopaneeli-investoinnin kannattavuuteen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Sertifiointi

LEED for Neighbourhood Development (USGBC)

Aluekehityshankkeiden sertifiointijärjestelmä.

[Linkki verkkosivulle.](#)

BREEAM for Communities (BRE Group)

Aluekehityshankkeiden sertifiointijärjestelmä.

[Linkki verkkosivulle.](#)

PromisE (VTT)

PromisE -ympäristöluokitus on työkalu kiinteistöjen markkinointiin ja kehittämiseen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Joutsenmerkki (Ympäristömerkintä Suomi Oy)

Vapaaehtoinen ympäristösertifikaatti, jota voidaan käyttää muun muassa korjausrakentamisen yhteydessä.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Kansallinen energiajärjestelmämallinnus

TIMES-VTT (VTT)

Kattaa energian tuotannon ja kulutuksen sekä kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähennysteknologiat. Kansallisen tason malli.

[Linkki verkkosivulle.](#)

PRIMES (the National Technical University of Athens)

Energiajärjestelmämallinnus, joka simuloi energiajärjestelmiä Euroopassa maittain.

[Linkki verkkosivulle.](#)

EnergyPLAN (Aalborgin yliopisto)

Simuloi kansallisia energiajärjestelmiä. Mukana sähkö-, lämmitys-, jäähdytys-, teollisuus- ja liikenne-sektorit.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Loma-asuminen

EkoPassi (VTT) ja Kyläpassi (VTT)

Loma-asunnon ja lomakylän ekotehokkuutta arvioivat työkalut, joka on tarkoitettu päätöksenteon tueksi kuntatasolla.

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.1.5 Materiaalitehokkuus ja jätehuolto

Materiaalitehokkuutta parantavien toimien vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin näkyvät suorimmin jätteenkäsittelyn päästöissä, joita voidaan tarkastella osana kuntien khk-laskentoja. Niissä huomioidaan yleensä erikseen kaatopaikkojen, kompostoinnin, mädätyksen ja jätevedenpuhdistuksen päästöt. Materiaalien käytön päästöjen laskemiseen soveltuu ENVIMAT (luku 4.1.2.1). Laajempien analyysien tekoon tarvitaan elinkaariohjelmistoja, joita on kuvattu luvussa 4.1.2. Rakennusten materiaalitehokkuutta voidaan arvioida omilla, rakennuksia koskevilla malleilla (luku 4.1.4).

Edellä mainittujen, myös muuhun käyttöön tarkoitettujen mallien ja laskurien lisäksi, on olemassa muutamia erityisesti jätteisiin keskittyviä työkaluja. Myös henkilökohtaisen materiaalityökalun laskentaan löytyy laskuri.

Jätehuollon kustannusten laskennassa voidaan hyödyntää LAJITEHO-laskuria (luku 4.4.3).

4.1.5.1 FINREC (SYKE)

FINREC on yhdyskuntajätevirtojen tarkasteluun tarkoitettu Excel-pohjainen malli, josta löytyy kunnittain jätelaitosten velvoitearajat yhdistettynä asumistietoihin ja jätteiden syntymäärä- sekä koostumustietoihin. Asumisen jätteestä erillään käsitellään hallinto-, palvelu- ja elinkeinotoimintojen jätteitä. Mallin avulla voidaan tarkastella eri toimenpiteiden, esimerkiksi velvoitearajojen kiristämisen tai lajitteluaktiivisuuden kasvattamisen vaikutusta yhdyskuntajätteen kierrätysasteeseen ja sitä kautta välillisesti khk-päästöihin. Mallin tarkempi kuvaus Sahimaa (2017).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 18. FINREC.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-ta-saisuus	Hyödynnettävyys
Jätevirrat	Malli	Asiantuntijakäyttö	Väitös-kirja	Ei	?	Excel	2017	Kyllä

4.1.5.2 Petra-jätevertailu (HSY)

Petra-jätevertailu on ilmainen, verkkopohjainen työkalu yritysten ja yhteisöjen jätemäärien vertailuun ja seurantaan. Valmiiden mittareiden avulla voidaan seurata jätteiden hyötykäyttöastetta ja kokonaismäärää suhteessa henkilöstömäärään, liikevaihtoon tai tuotannon määrään. Petra laskee myös jätteistä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Työkalun käyttö vaatii rekisteröitymistä. (HSY 2019a)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 19. Petra.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
KHK-päästöt	Työkalu	Helppo	Ei	Ei, rekisteröityminen	Ilmainen	Selain	2019	Mahdollinen

4.1.5.3 Laskentamalli seudullisen yhdyskuntajätteen kierrätysasteen laskemiseksi

CircHubs-hankkeessa kehitetty yhdyskuntajätteen laskentamalli. Laskurin avulla voidaan tuottaa seudullista jätetietoa, mikä auttaa kierrätysasteen seudullisessa arvioinnissa. Laskentamallin pohjana on toiminut HSY:n laskentamalli, jonka jätelajiluokituksia on yksinkertaistettu. Tavoitteena oli luoda yhtenäinen ja helppokäyttöinen laskentamalli. Yksityisen ja julkisten jätevirtojen laskenta perustuu Petra-jätevertailulaskentaan. Seudullista kierrätysastelaskentaa ei ole tehty muualla Suomessa. Tarkemmat tiedot: HSY (2017).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 20. Laskentamalli seudullisen yhdyskuntajätteen kierrätysasteen laskemiseksi.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Kierrätysaste	Työkalu	Helppo	Kyllä	Avoim	Ilmainen	Excel	2017	Kyllä

4.1.5.4 Materiaalijalanjälkilaskuri (Lahden ammattikorkeakoulu)

Materiaalijalanjälkilaskuri on Lahden ammattikorkeakoulun ja DMat Oy:n saksalaisesta laskurista soveltama työkalu kotitalouksille. Laskuri kattaa asumisen, tavaroiden, ruoan, vapaa-ajan ja matkailun sekä arkiliikenteen tuotteiden ja palvelujen valmistukseen ja käyttöön tarvittavien raaka-aineiden painon. (LAMK 2019)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 21. Materiaalijalanjälkilaskuri.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Materiaalijalanjälki	Työkalu	Helppo	Ei	Avoim	Ilmainen	Selain	2019	Mahdollinen

4.1.6 Muut khk-päästövaikutusten arviointityökalut

Yllä kuvattujen laskentamallien lisäksi on olemassa lukuisia muita malleja, laskureita ja työkaluja, joita voidaan soveltaa toimenpiteiden kasvihuonekaasupäästövaikutusten arvioinnissa. Ne liittyvät muun muassa yhdyskuntasuunnitteluun, ruokaan, maatalouteen ja hankintoihin. Luvussa 4.1.2 kuvattujen LCA-mallien lisäksi löytyy useita muita, maksullisia elinkaariarviointiohjelmistoja.

VEMALA-N (SYKE)

VEMALA-N-mallilla voidaan laskea maatalouden kaasumaisten typpiyhdisteiden (NH₃, N₂O, NO_x ja N₂) päästöt sekä NMVOC-päästöt. VEMALA-N on vesistöjen ravinnekuormitusmalli VEMALAn (ks. luku 4.3.1) alamalli. Mallin laskenta perustuu EMEP/EEA:n ja IPCC:n laskentaohjeisiin.

Työkalua käytetään ilman epäpuhtauksien päästöinventaarioihin, tutkimushankkeissa tarvittavan päästötiedon tuottamiseen, päästövähennysvelvoitteiden täyttymisen arviointiin sekä päästövähennysmahdollisuuksien ja niiden kustannusten arviointiin.

VEMALA-N sisältää kuusi maankäyttö- ja kasviluokkaa. Näitä ovat kevätiljat, syysviljat, nurmi, juureskasvit, viherkesanto sekä metsä. Mallissa kuvatut tyypiprosessit ovat mineralisaatio, nitrifikaatio, denitrifikaatio, immobilisaatio, kasvien typenotto, typpilannoitus ja lannoitteen liukeneminen maanesteeseen sekä typen huuhtoutuminen. Tarkemmat laskentaperiaatteet Grönroos ym. (2009).

[Linkki verkkosivulle.](#)

MALTTI (Aalto)

MALTTI on web-pohjainen työkalu alueiden rakentamisen ja käytön aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan. Tavoitteena on antaa kokonaiskuva uuden asuinalueen päästöistä ja niiden ajoittumisesta suhteessa asuinalueen elinkaareen, sekä mahdollistaa eri toteutusvaihtoehtojen vertailuja. MALTTI laskee myös asukkaiden kulutuksesta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt.

Laskentamallin pohjana on kustannusperusteinen panos-tuotosmalli, jonka pohjalta kehitetyssä hybridimallissa tärkeimpien rakennusmateriaalien sekä rakentamisessa käytetyn energian päästöt on laskettu hyödyntämällä materiaalivalmistajien sekä energiantuotannon ajantasaisia paikallisia päästöprofiileita. MALTTI huomioi kaikki tuotanto- ja toimitusketjun päästöt kuhunkin hyödykkeeseen liittyen. Toinen elinkaariperspektiivi liittyy aikaulottuvuuden huomiointiin päästöjen syntyhetken osalta.

MALTTI-järjestelmän tarkoituksena on voida simuloida maksimissaan 50 vuoden välisenä aikana syntyvät hiilijalanjälkeen vaikuttavat päästöt rakentamisen ja käytön osalta. Mallin teknisestä toteutuksesta löytyy lisätietoja insinööriystä Jauhiainen (2012).

[Linkki verkkosivulle.](#)

KETJUVASTUU (Luke/MTT)

Suomen elintarvikeketjulle kehitetty KETJUVASTUU-malli on elinkaariarviointeihin perustuva koko elintarvikeketjun kattava ympäristötilinpitomalli, joka sisältää kotimaisen elintarviketuotannon ja

elintarvikkeiden tuonnin ulkomailta kuljetuksineen. Mallilla voidaan arvioida elintarvikkeiden kulutuksessa tapahtuvien muutosten ympäristövaikutuksia Suomessa ja tuontimaissa. Analyysijä voidaan käyttää arvioitaessa, mihin ympäristövaikutuksia vähentäviä politiikkatoimia tulee elintarviketuotannossa kohdentaa. Menetelmää voi hyödyntää vaikutusten arvioinnissa. (MTT 2009)

Mallin rajoitteeksi voidaan lukea, että se kattaa tuotannon ja tuonnin ympäristövaikutukset kuluttajalle asti, muttei siinä ole huomioitu loppukulutusvaiheen eli kuluttajien tai palvelutoimialojen kulutuksen ympäristövaikutuksia. Tuotevarastojen muutokset on sen sijaan otettu huomioon kansantalouden tilinpidon käytännön mukaisesti. Mallin tämänhetkinen versio perustuu vuoden 2005 tietoihin eli tieto voi olla osittain vanhentunutta. (Jääskeläinen ym. 2013)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Foodweb/Foodplate (SYKE)

Foodweb-hankkeessa kehitetty Foodplate-ateriasovelluksella voidaan arvioida erilaisten lounasvaihtoehtojen energiasisältöä, ravintoarvoja, CO₂-päästöjä ja muita ympäristövaikutuksia sekä haitta-aineille altistumista. Laskuria voi käyttää selaimen kautta (Foodweb 2013) tai laajempuna excel-versiona (Mattila 2013).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Y-HIILARI (SYKE)

Suomen ympäristökeskuksen kehittämä helppokäyttöinen Excel-työkalu yrityksen hiilijalanjäljen laskentaan. Käyttö on maksutonta, mutta edellyttää käyttöehtojen hyväksymistä.

Laskuri huomioi lämmöntuotannon, sähköntuotannon, jätehuollon, kuljetusten ja liikematkustamisen päästöt. Laskuri noudattaa pääpiirteittäin kansainvälistä GHG-protokollaan kuuluvaa Corporate Accounting and Reporting -ohjeistusta (GHG Protocol 2015).

[Linkki verkkosivulle.](#)

AGRIGAS

Vuosittaisten KHK-päästöjen laskenta UNFCCC inventaarioon. Voi hyödyntää esimerkiksi DREMFIA-mallin tuloksia. Excel-pohjainen työkalu. Mallin kuvaus mm. Regina ym. (2009:482–483).

GHG Protocol Calculation Tools

30 erilaista ilmaista laskuria ja ohjetta mm. teollisuustuotannon päästöjen laskemiseksi (GHG Protocol 2019).

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.2 Terveysvaikutukset

Ilmastonmuutoksen hillintätoimenpiteiden terveysvaikutukset liittyvät ensisijaisesti ilmanlaatu, meluun ja liikkumistapojen muutoksilla saavutettaviin terveyshyötyihin (tai –haittoihin). Myös maankäytöllä voi olla välillisiä vaikutuksia ihmisten hyvinvointiin ja koettuun terveyteen maiseman muutosten, asuinalueiden viihtyisyyden ja virkistysalueiden käytön kautta. Lisäksi ilmastoystävällinen ruokavalio voi olla terveellinen vaihtoehto ja jotkin, esimerkiksi kulutusta uudelleen suuntaavat toimet saattavat vähentää altistumista haitallisille aineille.

Ilmanlaatu ja melu ovat selkeimmät kokonaisuudet, joita voidaan mallintaa olemassa olevilla malleilla. Lisäksi ENVIMATin (ks. luku 4.1.2.1) avulla päästään käsiksi materiaalivirtojen vaikutuksiin

pienhiukkasiin, ylä- ja alailmakehän otsonin muodostumiseen sekä toksisuusvaikutuksiin. IVARia (luku 4.1.3.2) voidaan käyttää myös karkean tason melumallinnukseen ja liikenneturvallisuuden muutosten arviointiin.

Ilmanlaadusta ei löydy kattavaa mittausdataa kaikilta alueilta, ja arvioita voidaan täydentää mallien avulla. Lisäksi joidenkin mallien avulla on mahdollista arvioida tulevien päästöihin vaikuttavien toimenpiteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Erittäin tarkan resoluution FMI-ENFUSER-mallin data on avointa, mutta sen käyttö vaatii asiantuntemusta. Koko Suomen kattavalla FRES-mallilla voidaan arvioida myös tulevaisuuden päästökehityksiä ja tarvittaessa tuottaa myös tarkempia kaupunkitaso- päästötarkasteluja. Katupölymallinnukseen on olemassa katutaso- NORTRIP-malli, jota voidaan hyödyntää myös laajempien kokonaisuuksien arviointiin. Ilmanlaadun parantamisen ja päästöjen vähentämisen rahallisia terveyshyötyjä voidaan laskea helposti IHKU-laskurilla, mutta laskuri tarvitsee arvion päästövähennyksen määrästä ja täten vaatii käyttäjältä päästöasiantuntemusta. Ilmanlaadun ja melun tarkasteluissa kaupungit tarvitsevat useimmiten asiantuntija-apua.

4.2.1 FRES (SYKE)

Suomen alueellinen päästöskenaariomalli (FRES –Finnish Regional Emission Scenario model, Karvosenoja 2008) on kehitetty tuottamaan tietoa ilmansaastepäästöjen arvioimiseen ja niiden vähentämismahdollisuuksiin Suomessa. FRESillä voidaan tehdä nykytilan kartoitusta sekä tulevaisuuden skenaarioita. Lisäksi pystytään arvioimaan eri tulevaisuusskenaarioiden energiajärjestelmäkehitysten ja päästövähennystekniikoiden vaikutusta päästöihin. (Säynäjoki ym. 2012)

Tarkasteltavia päästöjä ovat erikokoiset hiukkaset (PM10, PM2.5, PM1), musta hiili, orgaaninen hiili sekä rikin, typenoksidien, ammoniakkin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöt koko Suomen alueelta. Mallissa on mukana PM2.5-pienhiukkasten leviämistä kuvaavat lähde-kohde –matriisit ja sitä voidaan käyttää pienhiukkaspäästöjen aiheuttaman väestöaltistuksen ja terveysvaikutusten arviointiin (Savolahti ym. 2019). Lisäksi käytössä on mustan hiilen päästöjen ilmastovaikutuksia kuvaavia ilmastometriikoita (Kupiainen ym. 2019). Mallia voidaan käyttää myös happamoittavien ja rehevöittävien laskeumien tarkasteluissa sekä alailmakehän otsonin arvioinneissa (Syri ym. 2001), mutta nämä toiminnot eivät ole olleet viime aikoina aktiivisessa käytössä.

FRES-malli sisältää yksityiskohtaiset kuvaukset suurista pistemäisistä pienhiukkaspäästölähteistä eli teollisuus- ja voimalaitoksista sekä pienet päästölähteet 250 m ruututietojen tarkkuudella. Tämän vuoksi mallin avulla voidaan tarkastella alueellisella tasolla, mitkä ovat päästöjen vaikutukset ihmisiin ja ekosysteemeihin sekä arvioida niiden rajoittamistarpeita ja -mahdollisuuksia. Mallia on kehitetty myös kuntataso- vaikutustarkasteluihin. Pienhiukkasten päästöjä ja leviämistä arvioidaan sekä lähellä sijaitsevista lähteistä että kaukokulkeuman seurauksena. Mallin tuloksia käytetään sekä tieteellisessä arvioinnissa että poliittisen päätöksenteon tukena.

FRES on toteutettu Matlabilla.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 22. FRES.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentointi	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Ilman-saaste-päästöt, KHK-päästöt	Malli	Vaativa	On	Ei	Toimeksiantona	Matlab	Vuosittain	Kyllä

4.2.2 IHKU (SYKE)

IHKU-haittakustannusmalli kuvaa päästöjen vähentämisellä saavutettavia terveyshyötyjä rahallisesti arvioituna. Terveysvaikutuksiin liittyvät kustannukset on yleisesti arvioitu merkittävimmäksi ilman epäpuhtauksista aiheutuvaksi haittakustannukseksi.

IHKU on helppokäyttöinen malli, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi ilmansuojelustrategioita suunniteltaessa ja erilaisten toimenpiteiden kustannustehokkuutta vertailtaessa. Mallissa käyttäjä joutuu itse arvioimaan eri sektoreilla tapahtuvien vuosittaisten päästömuutosten suuruuden ja täten käyttö vaatii jonkin verran päästöasiantuntemusta. Päästöjen vaikutukset pienhiukkasten pitoisuuksiin on arvioitu Ilmatieteenlaitoksen SILAM-mallilla ja SYKEN FRES-mallilla.

Kustannusarvioissa on mukana sekä yhteiskunnalle koituvia kustannuksia, kuten sairaanhoitokuluja ja menetettyjä työpäiviä, että elämänlaadun heikkenemisen tai ennenaikaisen kuoleman arvottamiseen liittyviä kustannuksia. Merkittävimmät kustannukset liittyvät kuolleisuuden kasvuun, ja oletus ihmiselämän rahallisesta arvosta määrittää pitkälti haittakustannusten suuruusluokan. Ennenaikaiselle kuolemalle on lähtöoletukseksi valittu kolme eri kustannusarvoa, jotka ovat vertailukelpoisia useiden aiempien eurooppalaisten tutkimusten kanssa. (SYKE 2018c)

Huomioitavat terveyshaitat:

- Ennenaikainen kuolema
- Krooninen keuhkoputkentulehdus, astma
- Sairaalakäynnit (sydän-/hengityselinsairaudet)
- Poissaolo töistä ja alentunut työkyky.

Ennenaikaisen kuoleman arvottaminen, käytetty kahta yleistä metodia:

- VOLY (Value of Life Year)
- VSL (Value of Statistical Life).

Terveysvaikutusten laskeminen:

- Kun PM2.5-pitoisuus nousee 1 µg/m³, tarkastellun terveyshaitan esiintymisen todennäköisyys kasvaa x % lähtötilanteeseen verrattuna.

IHKU-mallia ollaan kehittämässä myös kuntatasolle paremmin soveltuvaksi. Tällä hetkellä mallissa olevat ilmansaasteiden haittakustannukset kuvaavat keskiarvoja koko Suomelle. Lähipäästöjen aiheuttamat haitat vaihtelevat kuitenkin suuresti alueen asukastiheyden mukaan. Vuoden 2019 aikana mallia tarkennetaan niin, että kunnille on laskettu erilliset haittakustannusarvot. Lisäksi mallin käytettävyyttä pyritään helpottamaan päivittämällä nettilaskuria ja tarjoamalla käyttäjälle apuja päästövähennysten määrälliseen arvioitiin. Lisätietoja ja esimerkkejä nykyisen mallin mahdollisista sovelluskohteista ja tulosten tulkinnasta Savolahti ym. (2018).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 23. IHKU.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentointi	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Ilmansaasteiden haittakustannukset, menetetyt elinvuodet	Työkalu	Soveltuu kuntien itsenäiseen käyttöön	On	On	Ilmainen	Selain	2019	Kyllä

4.2.3. ENFUSER (Ilmatieteen laitos)

ENFUSER-ilmanlaatumalli yhdistää ilmanlaadun mittaukset maankäyttö- ja säätietoihin. Lisäksi hyödynnetään perinteistä leviämislaskentaa. Mallin avulla saadaan laskettua ilmanlaatatiedot tunneittain 12 x 12 metrin tarkkuudella. Reaaliaikainen ja ennustedata on avoimesti saatavilla NetCDF-muodossa, mutta sen analysointi vaatii asiantuntijuutta. Mallia voidaan käyttää esimerkiksi reittien suunnitteluun tai päästöjen ennakkointiin. Laivapäästöjen tiedot saadaan Ilmatieteenlaitoksen STEAM-mallista.

Malli laskee tuntikonsentraatiot PM2.5, PM10, NO₂ and O₃, joiden perusteella tuotetaan ilmanlaatuindeksi ja visualisaatiot.

Pääkaupunkiseudun reaaliaikainen ilmanlaatu kartta perustuu ENFUSER-malliin (HSY 2019b). ENFUSERia voidaan soveltaa myös muille alueille pääkaupunkiseudun lisäksi, ja sitä on käytetty myös kansainvälisesti.

Malli on yhdistetty reaaliaikaisesti SILAM-malliin, paikalliseen ilmanlaatumonitorointiin sekä meteorologista dataa tuottaviin lähteisiin.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 24. ENFUSER.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumenttaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
Ilmanlaatu-tiedot tunneittain	Työkalu	Asiantuntijakäyttö	On	Data avointa, laskentamalli ei	Data ilmainen	Ei tietoa; Data saatavilla avoimesta WFS-rapinnasta.	2019	Kyllä

4.2.4 HEAT (WHO)

HEAT 4.2 (Health economic assessment tool for walking and for cycling) on WHO:n Euroopan toimiston kehittämä työkalu jolla arvioidaan lisääntyneen kävelyn ja pyöräilyn terveysvaikutuksia, ja näiden vaikutusten taloudellista arvoa. HEAT-mallia voidaan käyttää esim. hyöty-kustannuslaskelmien tukena. Terveysvaikutus huomioi muutokset fyysisessä aktiivisuudessa, altistumisen ilmansaasteille aktiivisuuden aikana ja lisäksi onnettomuusriskit kävellessä ja pyöräillessä.

Taloudellisia vaikutuksia arvioidaan perustuen ihmiselämän tilastolliseen hintaan samoin kuin esimerkiksi tieliikenteen hankkeiden hyötykustannuslaskelmissa. Laskelma on helppo tehdä itse omien, väestöä ja sen liikkumistottumuksia kuvaavien lähtötietojen pohjalta. HEAT-työkalu tarjoa myös valmiita muutuskertoimia joilla esim. askelmäärät voidaan muuttaa fyysisen aktiivisuuden ajaksi, jota käytetään terveyslaskennassa. Laskurilla voi arvioida tietyn hankkeen tai investoinnin vaikutuksia, tai myös yleisesti kuinka paljon säästettäisiin, mikäli pyöräily ja kävely lisääntyisi tietyn verran. Verkkosovelluksena käytettävä laskuri kertoo myös vaikutuksen hiilidioksidipäästöihin. (WHO 2017)

HEAT-tarvitsee lähtöaineistoikseen arvioin pyöräilijöiden tai kävelijöiden määrästä, pyöräilyn tai kävelyn kestoista, kuolleisuusasteen, ihmishengen tilastollisen arvon sekä mahdollisten taloudellisten hyötyjen diskonttauksen (Liimatainen ym. 2016)

HEAT-työkalua on hyödynnetty muun muassa Joensuussa (Ansio ym. 2013).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 25. HEAT.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumenttaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Vältetyt ennenaikaiset kuolemat, CO ₂ -päästöt ja niiden tuottamat säästöt	Työkalu	Helppo	On	On	Ilmainen	Selain; (taustalla R-malli)	Kyllä	Kyllä

4.2.5 NORTRIP (Norwegian Institute for Air Research)

NORTRIP (NOn-exhaust Road TRaffic Induced Particle emissions) on katupölymalli, joka mittaa ei-pakokaasuperäisten päästöjen syntymiseen vaikuttavia prosesseja (Stojiljkovic ym. 2018). Malli keskittyy etenkin tien kulumisen, suspension ja tien kosteuden vaikutusten tutkimiseen. Tulosten avulla voidaan kehittää katupölyä ehkäiseviä menetelmiä. Norjassa mallilla luodaan myös ennusteita ilmanlaadusta. Mallia on kehitetty pohjoismaalaisessa yhteistyössä ja sitä käytetään aktiivisesti. Matlab-pohjainen malli ei välttämättä sovellu kaupunkien itsenäiseen käyttöön, vaan vaatii erityisosaamista.

NORTRIPin tuloksia yleistetään Suomen eri alueille, eri meteorologioille ja erilaisille tie- ja katu-tyypeille. Päästökerroinriiot viedään FRES-malliin. (Kupiainen ym. 2017)

NORTRIP- ja FORE- mallien välillä on merkittäviä eroja eri prosessien laskentatapojen ja mallien rakenteen suhteen. Kuitenkin näistä eroista huolimatta, mallit tuottavat samankaltaisia tuloksia sen suhteen, mitkä toimet olisivat tehokkaimpia katupölyn määrän pienentämiseksi. (Stojiljkovic ym. 2018)

HSY on käyttänyt mallia katupölyn hiukkasten päästövähennysmahdollisuuksien tutkimisessa. "NORTRIP-malli on tällä hetkellä kattavin liikenteen ei-pakokaasuperäisten hiukkasten mallintamistyökalu, joka perustuu hiukkasten syntyyn ja päästöihin liittyvien prosessien tuntemiseen, ja jota voidaan käyttää PM₁₀-päästöjen ymmärtämiseksi ja kontrolloimiseksi." (HSY 2016)

NORTRIP-mallia vastaava katupölymalli on FORE (Ilmatieteen laitos).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 26. NORTRIP.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumenttaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Katupölypäästöt	Malli	Vaativa asiantuntijakäyttö	Kyllä	Ei	?	Matlab	?	Kyllä, tutkimustiedon lähteenä

4.2.6 CNOSSOS-EU (JRC)

Tie-, raide- ja ilmaliikenteen sekä teollisuuden melutasoja ja ihmisten altistumista voidaan mallintaa CNOSSOS-EU-laskentamallilla. Vuosina 2009–2012 Euroopan komission, Euroopan ympäristökeskuksen, Maailman terveysjärjestö WHO:n, Euroopan lentoturvallisuusviraston yhdessä asiantuntijoiden kanssa kehittämä malli luo yleiseurooppalaisen kehyksen EU:n ympäristömeludirektiivin mukaisille selvityksille. (Kephelopoulos ym. 2012)

Laskenta-asetuksien ja mallinnusperiaatteiden lähtökohtana ovat olleet yleisimmin käytössä olevat maksulliset melulaskenta-ohjelmat, kuten Datakustik CadnaA sekä SoundPLAN (Väylävirasto 2017). Melulaskennan pohjana suositellaan ensisijaisesti käytettäväksi hyvälaatuista 3D-kantakartta-aineistoa

tai laserkeilaukseen perustuvaa maastomallia (Väylävirasto 2017). Lisäksi tarvitaan tietoa liikenteestä, rakennuksista, väestöstä ja sääolosuhteista. Meluselvitysten tilaajat ja meluselvityskonsultit vastaavat itse melumallien ja melulaskentojen ympäristömeludirektiivin mukaisesta riittävän laadukkaasta toteutuksesta. CNOSSOS-EU-laskentamallit on kuvattu ympäristömeludirektiiviin liitteessä 2

Suomessa on jo alettu implementoimaan CNOSSOS-EU:ta melumallinnukseen. Esimerkiksi Helsinki (SITO oy 2017) ja Lahti ovat tehneet vuonna 2017 CNOSSOS-EU-laskentamallilla ympäristömeludirektiivin mukaiset meluselvitykset.

CNOSSOS-EU-mallin autokategorioiden arvot ovat peräisin Nord2000 ja Harmonoise-malleista (Väylävirasto 2017). Helsingin meluselvityksen CNOSSOS-EU-tiemelumalliin lähtöarvot perustuvat viimeisimpään yhteispohjoismaiseen laskentamalliin (SITO oy 2017). Raideliikennemelumallin kansalliset lähtöarvot ovat vastaavat kuin pohjoismaisessa raideliikennemelumallissa. (Väylävirasto 2017).

Muita melumallinnukseen soveltuvia laskentamalleja ovat Nord2000 ja Harmonoise.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 27. CNOSSOS-EU.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Melu, alitistuminen	Malli	Vaativa	On	Ei	Ei	Käyttö melumallinnusohjelmiston kautta	2018	Erillisselvityksenä

4.2.7. TARVA (Väylävirasto)

TARVA (Turvallisuusvaikutusten ARviointi VAikutuskertoimilla) soveltuu erityisesti onnettomuuksien lukumäärien arviointiin nykytilanteessa. TARVAa on käytetty muun muassa Tiehallinnon turvallisuustavoitteiden toteutuman arviointiin.

Kullekin TARVA-ohjelmiston mukaiselle tietyyppille voidaan määrittää keskimääräiset onnettomuusasteet sekä onnettomuuden vakavuusasteet erikseen autoliikenteelle, kevyelle liikenteelle ja eläinonnettomuuksille.

Uusia tieyhteyksiä rakennettaessa jakautuvat liikennemäärät ja sitä myötä myös onnettomuudet uudelleen tieverkolle. Näihin arvioihin suositellaan IVAR-mallia, joka laskee uusien tieyhteyksien onnettomuusmäärät käyttäen TARVAN keskimääräisiä onnettomuus- ja vakavuusasteita. (Liikennevirasto 2015)

TARVA soveltuu nykyisellään suoraan vain maantieverkon tarkasteluihin (Peltola & Räsänen 2009).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 28. TARVA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Onnettomuusmäärät ja vakavuusasteet	Työkalu	Helppo	On	Ei	?	Selain	TARVA MT 6.0; 2019	Kyllä

4.2.7 Muut

Melu

Nord2000

Nord2000 on yhteispohjoismainen tie- ja raideliikennemelun laskentamalli. Työkalussa otetaan huomioon mm. Maanpeitteisyys, topografia, ilmanpaine, lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, tuulennopeus sekä maaston akustiset ominaisuudet. Lisätietoja Kragh ym. (2006). Nord2000 on ympäristömelumallinnuksen kansainvälisestä ISO 9613-2 mallista poikkeava ja tarkempi melumallinnusmenetelmä (Nykänen ym.2013). Nord2000-mallin tiemallin dataa on käytetty Suomen CNOSSOS-EU-mallinnuksissa (Väylävirasto 2017). Mallia käytetään paljon tuulivoiman melumallinnuksessa. Sen laskentaperiaatteet on päivitetty 2011 (Kragh 2011).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Harmonoise

Tie- ja raideliikenteen sekä teollisuusmelun laskentamalli.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Ilmanlaatu

UAQFS (Ilmatieteen laitos)

Ilmanlaadun ennustemalli.

[Linkki verkkosivulle.](#)

SHERPA (JRC)

Politiikkatoimien vaikutus ilmanlaatuun.

[Linkki verkkosivulle.](#)

RIAT+ (JRC)

Politiikkatoimien vaikutus ilmanlaatuun. SHERPAA laajempi, myös khk-päästöt ja kustannukset.

[Linkki verkkosivulle.](#)

CAR (Ilmatieteen-laitos)

Tieliikenteen päästöjen leviämismalli.

[Linkki verkkosivulle.](#)

SILAM (Ilmatieteenlaitos)

Leviämismalli, jonka avulla voidaan tutkia muun muassa ilmakehän ominaisuuksia sekä ilmanlaatua. Malli on saatavilla ilmaiseksi tutkimuskäyttöön. Avoin lähdekoodi.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Katupöly

FORE (Ilmatieteen laitos)

FORE (Forecasting of Road dust Emissions)-mallilla voidaan mallintaa katupölyn vaikutuksia ilmanlaatuun. Malli keskittyy päällysteen kulumisesta ja katupölyn suspensiosta aiheutuviin päästöihin. Malli käyttää tunnittaisia aikasarjoja kosteudesta, lämpötilasta, kosteuden tiivistymispisteestä, suhteellisesta

kosteudesta, tuulennopeudesta sekä nettosäteilystä. Lisäksi se käyttää lähtötietoina nastarenkaiden osuutta liikenteessä sekä prosesseja, joiden myötä pienhiukkaset suspentoituvat ilmaan. Malli ei sovellu kuntien itsenäiseen käyttöön. Tarkempia tietoja ja FORE:n ja NORTRIP:n välinen vertailu mm. Stojiljkovic ym. (2018).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Terveys

AirQ+ (WHO)

Ilmainen ohjelmisto ilmansaasteiden päästöjen aiheuttamien terveysriskien arviointiin ja mallinnukseen. Työkalun avulla voidaan mm. arvioida päästöjen vaikutus elinajan odotteeseen sekä terveyteen, kun ilmansaasteiden määrä muuttuu. (WHO 2019)

[Linkki verkkosivulle.](#)

PAQ2018 (WHO)

Työkalu on yhdistelmä AirQ+- ja GGD-työkaluja. Se laskee terveyshyödyt ja –haitat ilmanlaadunmuutosten seurauksena. Työkalua on pilotoitu Helsingissä. Verrattuna AirQ+ ja GGD-työkaluihin, PAQ2018 ottaa huomioon myös DALY-arvon (Disability Adjusted Life Years) ja terveysvaikutusten rahalliset kustannukset.

[Linkki verkkosivulle.](#)

ITHIM (Cambridgen yliopisto)

ITHIM arvioi liikenneratkaisujen vaikutuksia terveyteen liikunnan, ilmansaasteiden ja onnettomuuksien kautta. ITHIM-mallin ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2009. ITHIM huomio kaiken liikkumisen, ei pelkästään liikenteeseen liittyvän liikkumisen, ja laskee liikenteen terveysvaikutukset osana liikunnan kokonaishyötyjä. Tausta-aineistoa on kerätty esimerkiksi henkilöliikennetutkimusten kautta sekä muilla kyselytutkimuksilla, ja mallin taustatietojen kerääminen ja prosessointi onkin aikaa vievää. (Liimatainen ym. 2016)

[Linkki verkkosivulle.](#)

iSThAT (WHO)

ISThAT (Integrated Sustainable Transport Carbon-Health-Economic Assesment Tool) työkalun avulla lasketaan liikenteen aiheuttamien ilmapäästöjen saasteiden (PM, NOx, SO2, CO2) terveys- ja taloudellisten vaikutusten määrä. Julkaistaan vuoden 2019 aikana. (WHO 2019)

[Linkki verkkosivulle.](#)

FASST (JRC)

Politiikkatoimien vaikutus kuolleisuuteen ja viljasatoihin.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Hyvinvointikompassi (THL)

Hyvinvointikompassi on verkkopalvelu, joka sisältää noin sata keskeistä indikaattoria väestön hyvinvoinnista, terveydestä ja sosiaali- ja terveyspalveluista. Palvelu on tarkoitettu alueellisen hyvinvoinnin seurantaan kuntien, maakuntien ja sairaanhoitopiirien johtamisen ja suunnittelun tueksi. (THL 2019a)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Sotkanet (THL)

Sotkanet sisältää hyvinvointia, terveyttä ja palvelujärjestelmää koskevaa tilastotietoa kaikista Suomen kunnista. Palvelussa on noin 2000 indikaattoria. Tietoja voidaan hyödyntää esim. palveluiden suunnittelussa ja kuntien hyvinvointikertomuksissa. (THL 2019b)

[Linkki verkkosivulle.](#)

TEAvisari (THL)

TEAvisari on kunnan terveyden edistämiseksi kuvaava verkkopalvelu. Työkalua voidaan käyttää kunnan toiminnan suunnittelun apuvälineenä. Terveyden edistämisen aktiivisuutta kuvataan mm. sitoutumisen, johtamisen, terveysseurannan ja tarveanalyysin, voimavarojen, yhteisten käytäntöjen ja osallisuuden kautta. Kunnalliset aineistot päivitetään kaksi kertaa vuodessa. (THL 2019c)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Terveyspuntari (KELA)

Terveyspuntarin kansantauti- ja sairastavuusindeksien ja karttasovellusten avulla voi vertailla väestön alueellisia sairastavuuseroja yhtenä vuotena. (Kela 2018)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Pyöräilyn terveysvaikutukset

Propensity to Cycle Tool (PCT)

Arvioi työmatka- ja koululiikenteen pyöräilyä Englannissa ja Walesissa. Tarkoitettu kuntatason tarkasteluihin arvioimaan millä kaduilla tai katuosuuksilla todennäköisimmin pyöräily lisääntyy. Työkalu arvioi skenaarioiden vaikutukset CO₂ päästöihin ja kuolleisuuteen. Tällä hetkellä työkalu huomioi fyysisen liikkumisen mutta tulee myöhemmin sisältämään onnettomuudet ja ilmansaasteet). Helppo käyttää, perustuu R-malliin (käyttöliittymä Shiny).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Impacts of Cycling Tool (ICT)

PCT:n ”sisarmalli” jossa arvioidaan myös pyöräilyn lisääntymisen vaikutuksia. Erona PCT-malliin ICT keskittyy kokonaisvaikutuksiin ilman tiekohtaisia tuloksia. Työkalu sisältää paljon erilaisia indikaattoreita terveyteen ja ilmastoon. Terveyteen ja hyvinvointiin liittyviä sosiaalisia vaikutuksia voidaan lisäksi tarkastella THL:n ja KELAn aineistojen ja työkalujen kautta.

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.3 Luontovaikutukset

Päästöjä vähentävillä toimenpiteillä voi olla vaikutuksia vesistöihin, maaperään, luonnon monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin esimerkiksi ravinnekuormituksen, haitallisten aineiden tai ilmansaasteiden muutosten kautta. Luontovaikutusten arviointiin on käytettävissä runsaasti erilaisia malleja ja työkaluja.

Elinkaariohjelmistoilla ja ENVIMAT-mallilla voidaan arvioida tuotantoketjujen materiaalivirtojen vaikutuksia muun muassa happamoitumiseen, rehevöitymiseen, otsonikatoon, savusumuun, ekotoksisuuteen ja luonnon monimuotoisuuteen (ks. luku 4.1.2.1). KEKO-laskurilla (luku 4.1.4.5) tarkastellaan maankäytön muutosten vaikutuksia päästöjen ohella luontoon ja luonnonvarojen käyttöön. FRES-mallilla (luku 4.2.1) pystytään kuvaamaan happamoittavia ja rehevöittäviä laskeumia.

Runsaimmin erilaisia malleja löytyy vesistövaikutusten tarkasteluun. Ihmistoiminta vaikuttaa vesistöihin muun muassa maa- ja metsätalouden, turkistuotannon, jätevesien, hulevesien, ilmalaskeuman, pistekuormituksen sekä ruoppauksen ja läjityksen kautta.

Lisäksi malleja on muun muassa vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuuden, virkistyskäytön, haitta-aineiden kulkeutumisen sekä kulutustottumusten vesistövaikutusten arvioimiseksi. Vesistömallit linkittyvät tiiviisti etenkin maatalous-sektorin mallien kanssa. Osa niistä on monimutkaisia prosessimalleja, mutta mukana on helppokäyttöisiäkin työkaluja, kuten KUSTAA. Malleilla saadaan kattava kuva vesistöjen kuormituksesta, haitallisten aineiden kulkeutumisesta ja ravinteiden liikkeistä vesistöihin ja sieltä merialueille.

TOIMI-hankkeen keskeinen johtopäätös oli, että vaativat mallit tulisi jättää asiantuntijoille ja tutkijoille, jotka voivat tuottaa ja validoida mallien tulokset jatkokäyttöön. Esimerkiksi huuhtoumamallit edellyttävät käyttäjältään syvällistä ymmärrystä hydrologiasta, maaperäprosesseista sekä ravinteiden ja sedimentin kulkeutumisprosesseista. Tällaisten mallien onnistunut soveltaminen ja käyttö vaativat pitkäjänteisyyttä ja jatkuvaa kehitystyötä. Sen sijaan yksinkertaisemmat mallit tulisi ottaa laajaan hajautettuun käyttöön, mikä kuitenkin edellyttää käyttöoppaita, toimivia käyttöliittymiä ja neuvontaa. (Tattari ym. 2017)

Maaperämalleilla voidaan esimerkiksi tuottaa rajattujen alueiden pelto- ja metsämaiden hiilitaseet. Niiden avulla voidaan arvioida maankäytön aiheuttamaa maaperän hiilivarojen muutosta sekä eroosion vaikutusta. Maaperän hiilitaseen laskemiseen on ilmaisia työkaluja, jotka kuitenkin vaativat asiantunteumusta, kuten YASSO- (luku 4.3.10) ja LUONNIKAS-mallit (luku 4.3.11). Maaperämallit linkittyvät vahvasti maa- ja metsätalouteen sekä vesistöjen tarkasteluihin. MOTTI- ja SuojeluMOTTI- (luku 4.4.6) sekä MELA-malleilla (luku 4.4.5) tarkastellaan puuston kehitystä sekä talousmetsän kustannuksia ja hyötyjä verrattuna suojeluun, millä on vaikutuksia biodiversiteettiin ja hiilinieluihin.

Ekosysteemipalveluiden arvioinnin mahdollistavat mallit ovat paikkatietopohjaisia analyysimalleja, kuten Zonation ja Estimap (Zulian ym. 2013). Lisäksi ekosysteemipalveluiden vaikutustenarviointia voidaan kehittää erimenetelmin, esimerkiksi arvottamalla. Ekosysteemipalveluiden arviointimenetelmien tueksi on luotu ohjeet TEEB for Finland (Jäppinen & Heliölä 2015), jossa on kuvailtu menetelmiä, kuten Luontoarvopankkia, jonka avulla yritykset voivat kompensoida aiheuttamiaan luontovahinkoja jossain muussa kohteessa. ESMERALDA-hankkeessa on kerätty ekosysteemipalveluihin liittyvä tutkimustieto ja menetelmät yhteen paikkaan (MAES-Explorer). (ESMERALDA 2018)

Monet luontovaikutuksia kuvaavat mallit ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa. Mallien ketjuttamista tarvitaan, mutta ei välttämättä niin, että mallit kytkettäisiin koodaamalla suoraan yhteen. Yhden mallin tulostiedot ovat kuitenkin usein lähtötietoja toiselle mallille. Tällaisen ketjun pitäisi olla käyttäjäystävällinen ja läpinäkyvä, jotta tiedetään mikä vaikuttaa mihin. (Tattari ym. 2017)

Vesistömallien ja työkalujen yhteiskäyttöä on tutkittu myös GisBloom-hankkeessa (Hjerpe ym. 2014) ja Freshabit-hankkeessa on kehitetty metsäalueille sopiva kansallinen malliperhe, National Integrated Model (Tattari & Finér 2016).

4.3.1 VEMALA (SYKE)

VEMALA on vesistöjen ravinnekuormitusmalli, joka simuloi ravinteiden prosesseja, huuhtoutumista ja kulkeutumista maalla, joissa ja järvissä. Malli laskee kokonaiskuorman, pidättymisen ja Suomen vesistöistä Itämereen lähtevän kuorman. VEMALA koostuu pääosin kahdesta osamallista: hydrologiaa simuloivasta WSFS (Watershed simulation and forecasting system)-mallista ja ravinneprosesseja simuloivasta VEMALA-mallista. Mallia on kehitetty vuosien kuluessa, ja tällä hetkellä neljä malliversiota on operatiivisessa käytössä (SYKE 2019).

VEMALalla voi simuloida päivittäistä vedenlaatua Suomen joissa ja yli hehtaarin kokoisissa järvissä sekä tuottaa reaaliaikaisia tuloksia (SYKE 2019). Sillä pystyy myös analysoimaan eri kuormituslähteiden osuutta kokonais- tai biologisesti käyttökelpoisista ravinteista sekä biologisesti

käyttökelpoisten ravinteiden osuutta mereen menevästä kuormituksesta. VEMALAlla voi simuloida eri-laisten maatalous- ja ravinnekuormitusta vähentävien toimenpiteiden vaikutusta ravinteiden kuormitukseen. Lisäksi simuloinneissa voidaan huomioida ilmastonmuutoksen vaikutus. Myös reagoimattomien yhdisteiden kulkeutumista jokireiteissä voidaan simuloida, esimerkiksi tahattoman vuodon seurauksena alajuoksuun päätyvän pitoisuuden arvioimiseksi. Malli huomioi valuma-alueen peltojen kasvillisuusjakauman ja lannoitusmäärän. (Tattari ym. 2017)

VEMALA on matemaattinen prosessipohjainen malli, jonka käyttö vaatii varsin suurta laskentatehoa. VEMALA laskennat tehdään keskitetysti niin, että käyttäjät pääsevät käyttöliittymän kautta valmiisiin laskentatuloksiin, jotka sisältävät mm. tämänhetkisen kuormituksen vesimuodostumiin jaettuna kuormituslähteisiin sekä skenaarioita kuormituksen muuttumisesta.

VEMALAn avulla voidaan tarkastella kuormitusvähennystoimenpiteiden ja ilmastonmuutoksen vaikutusta mm. mereen päätyvään ravinnekuormitukseen (Huttunen ym. 2014).

VEMALA-mallia sovelletaan operatiivisesti koko Suomessa (Tattari ym. 2017), kun taas esimerkiksi INCA, SWAT ja COHERENS-malleja on sovellettu lähinnä yksittäisille valuma-alueille.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 29. VEMALA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentointi	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Vesistökuormitus	Malli	Asiantuntijakäyttö	On	Ei	?	?	2017	Kyllä

4.3.2 INCA (NIVA)

INCA (Integrated Nutrients from Catchments) on Readingin yliopistossa, Englannissa, kehitetty dynaaminen ja prosessipohjainen valuma-aluemalli. Mallia on kehitetty mm. EU-hankkeissa ja sovellettu laajalti ympäri maailmaa. Mallin kehityskeskus sijaitsee nykyään Norjan vedentutkimuslaitos NIVAssa. Malliperhe sisältää tyypin lisäksi osamallit eroosion ja sedimenttien kulkeutumisen, fosforin, orgaanisen hiilen, kloridin, elohopean ja muiden haitallisten aineiden, sekä taudinaiheuttajien laskentaan.

Malli laskee aineiden prosessit ja kulkeutumisen maaperässä, sekä joessa. Maaperässä tapahtuvat prosessit lasketaan keskenään samanlaisissa segmenteissä (Hydrologically Representative Unit, HRU). Malli laskee valunnan maan pinnasta, aktiivisesta maaperäkerroksesta sekä pohjavesivarastosta vastaanottavaan vesistöön. SYKEssä on kehitetty mallin soveltuvuutta pohjoisiin oloihin, lisäämällä malliin lumiosio ja parantamalla maaperän lämpötilan laskentaa (Rankinen ym. 2004; Rankinen ym. 2019),

Mallilla voidaan tutkia sateiden ja lämpötilan vaihteluja sekä tuotantopanosten muutoksia esimerkiksi eläinten lannasta. Mallilla voidaan arvioida mm. ilmastonmuutoksen, väestönkasvun ja maankäytön muutosten vaikutuksia vesistökuormitukseen (esim. Rankinen ym. 2004; Rankinen ym. 2019). INCAn käyttöliittymä on suunniteltu käyttäjäystävälliseksi, ja siinä on hyvä tulostusgrafiikka (Tattari ym. 2017).

Haitta-aineiden kulkeutumista voidaan tutkia myös COHERENS-mallilla (luku 4.3.12.).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 30. INCA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
Vesistökuormitus, maankäyttö, ilmastoteknaariot	Malli	Asian-tuntija-käyttö	On	Koodi ei ole avoin. Mallin saa tutkimuskäyttöön.	Käyttö maksuton tutkimus-yhteis-työssä	C++	2019	Kyllä

4.3.3 KUSTAA (LUKE)

KUSTAA-työkalu on ominaiskuormitusmenetelmään perustuva laskentaohjelma valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan. KUSTAA sisältää kiintoaineen (KA), kokonaistypen (N) ja kokonaisfosforin (P) taustakuormitusluvut ja haja- ja pistekuormitusta kuvaavat ominaiskuormitusluvut vaihteluväleineen sekä maataloustoimien pinta-alat. Lähtötiedoiksi tarvitaan valuma-alueen pinta-ala, vesistöjen pinta-ala, ja vuositasolla metsä- ja maataloustoimien pinta-alat sekä pistekuormituslähteiden yksikkömäärät. Tietojen perusteella tuotetaan arvio valuma-alueen kokonaiskuormituksesta ja sen jakautumisesta. Lisäksi esitetään yksinkertainen epävarmuusarvio. KUSTAA-kuormituslaskuria voidaan hyödyntää esimerkiksi osana YVA-menettelyä ja vesistön tilan parantamiseen tähtäävien vesiensuojelu- ja kunnostushankkeiden suunnittelun tukena.

Monista aiemmista menetelmistä poiketen KUSTAA-työkalu kattaa kaikki tyypillisimmät haja- ja pistekuormitusta aiheuttavat maankäyttömuodot ja yhdyskuntien toiminnot, sekä ilmakehästä laskeutuvana että luonnontilaisilta maa-alueilta vesistöihin päätyvän taustakuormituksen. Uutta on myös lähtöaineistojen epävarmuuden huomioiminen osana kuormituslaskentaa.

KUSTAA on tarkoitettu vapaasti julkisen ja yksityissektorin käyttöön. Se on ohjelmoitu Microsoft Excelin päälle Visual Basic for Applications -kielellä. Ohjelman käyttö tapahtuu graafisen käyttöliittymän ja Excel -työkirjan välilehtien avulla. (Launiainen ym. 2014)

Vesistökuormituksen kokonaismäärän ja kuormituslähteiden suhteellisten osuuksien tunteminen on keskeistä myös arvioitaessa esim. teollisuuden päästöjen mahdollista vaikutusta valuma-alueella osana ympäristövaikutusten arviointia (YVA-menettely), tai vesistön tilan parantamiseen tähtäävien kunnostushankkeiden suunnittelussa. Laskentatuloksien avulla pystytään arvioimaan esimerkiksi maankäytössä tapahtuvien muutosten tai pistekuormituksen hallinnan mahdollisia vaikutuksia valuma-alueen kokonaiskuormitukseen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 31. KUSTAA

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
Vesistökuormitus	Työkalu		On	On	Ilmainen	Excel / VBA	2014	?

4.3.4 LLR (SYKE)

LLR, eli Lake Load Response, on SYKEssä kehitetty selainpohjainen mallinnustyökalu kuormitusvaikutusten arviointiin. LLR auttaa kuormitusvähennystarpeen arvioinnissa ja siten vesistöalueiden hoidon suunnittelussa ja siihen liittyvässä päätöksenteossa (SYKE 2014b).

LLR:llä lasketaan, miten ulkoinen kuormitus ja sen muutokset vaikuttavat vesimuodostuman kokonaisravinne- ja a-klorofyllipitoisuuksiin (SYKE 2014b). LLR soveltuu erityisesti huonokuntoisten tai hyvän ja tyydyttävän tilan rajalla olevien järvien ja sisempien rannikkovesialueiden kuormitusvähennystavoitteiden laskemiseen sekä tueksi ekologisen tilan arviointiin. Työkalun avulla voidaan laskea se typpi- ja fosforikuorman määrä, jolla hyvä ekologinen tila voidaan saavuttaa. Mallia voi soveltaa sekä yksittäiselle järvelle että ison järven osaan, jos sen yläpuolinen valuma-alue on tarkasti rajattavissa (Tattari & Finér 2016).

Laskennan syöttötietoina tarvitaan tarkasteltavan vesimuodostuman keskisyvyys, tilavuus ja pintavesityyppi sekä mahdollisimman pitkät havaitut aikasarjat tulevasta kuormituksesta, lähtövirtaamasta ja edustavimman syvänteen kokonaisravinnepitoisuuksista. Lisäksi tarvitaan arvio sisäisen kuormituksen suuruusluokasta. Mikäli ulkoisen kuormituksen tietoja ei ole saatavilla, voidaan niiden sijaan käyttää esim. VEMALA-mallin tuottamia ennusteita. LLR ja VIRVA-malleja voidaan käyttää yhdessä vesistön virkistyskäytön arviointiin.

Työkalun tuotoksena syntyy:

- tarvittavan ravinnekuormitusvähennyksen hyvän tilan saavuttamiseen
- kriittisen kuormituksen
- kokonaistypen ja -fosforin sekä a-klorofyllin pitoisuuksien jakaumat annetuilla kuormituksilla
- järven todennäköisimmän ekologisen tilan annetuilla kuormituksilla.

LLR:stä on olemassa kaksi versiota. Karttapohjaisessa Vesinetti-LLR:ssä voidaan käyttää hyväksi sisäisen kuormituksen vaikutusta sekä käyttöliittymään valmiiksi ladattuja syöttötietoja. Työkalut ovat vapaasti käytettävissä internetin kautta (www.vesinetti.fi ja <http://lakestate.vyh.fi/>), mutta käytännössä malliajot on kuitenkin tehty keskitetysti R:llä SYKEssä. Molemmilta verkkosivuilta löytyy lisätietoa malleista sekä käyttöohjeet. (SYKE 2014b)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 32. LLR.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentointi	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Kuormituksen vähennystarve	Työkalu	Helppo	On	On	Ilmainen	Selain	2014	Kyllä

4.3.5 VIHMA (SYKE)

VIHMA on viljelyalueiden kiintoaine- ja ravinnekuormituksen hallintamalli. Mallin käyttö ja laskentatulokset perustuvat peltoalan ominaisuuksiin ja ominaiskuormituslukuihin (kg/ha/v), jotka kuvaavat ominaisuuksiltaan ja viljelykäytöltään erilaisilta pelloilta tulevaa keskimääräistä kiintoaine- ja ravinnekuormitusta vuodessa. Työkalussa on ominaiskuormituslukuja erilaisille pellon viljelymenetelmille viidessä kaltevuusluokassa, neljässä maalajiryhmässä ja kolmessa P-lukuluokassa, joka kuvaa kasveille

käyttökelpoisen, helppoliukoisen fosforin määrää muokkauskerroksessa. (SYKE 2014c; Puustinen ym. 2010)

Työkalu toimii valuma- ja vesistöaluetasolla, ja se soveltuu ensisijaisesti erilaisten maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden ja toimenpidekokonaisuuksien vaikutusten sekä erilaisten skenaarioiden vaikutuspotentiaalin arviointiin. Tarvittavia lähtötietoja ovat kohdealueiden peltojen pinta-ala, maalaji-, kaltevuus- ja P-lukujakaumat sekä toteutetut maanmuokkaustoimenpiteet ja mahdollisuudet toteuttaa suojavyöhykkeitä ja kosteikkoja (SYKE 2014c).

Suojavyöhykkeen vaikutukset perustuvat eri kaltevuusluokissa ja erilaisissa muokkaus-, kasvipeitteisyyskäsitelyissä suojavyöhykkeettömän ja suojavyöhykkeellisen peltolohkon kuormituksen eroihin. Kosteikkojen vaikutukset lasketaan yläpuolisen valuma-alueen peltohehtaaria kohden, johon vaikuttaa kosteikon suhteellinen koko ja valuma-alueen peltoisuusprosentti (SYKE 2014c).

VIHMA-malli on Excel-pohjainen.

Maatalouden ravinnekuormituksen vesistövaikutusten laskentaan voidaan käyttää peltolohkokohtaisia VIHMA tai ICECREAM-malleja. Suuri osa tiedoista on saatavilla mm. ympäristöhallinnon rekistereistä tai esim. VEMALA-mallista, mutta ainakin muokkausmenetelmien, suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen osalta on yleensä käytettävä asiantuntija-arvioita (Väisänen ym. 2013).

Mallia on käytetty TEHO-hankkeessa kokonaistypen, kokonaisfosforin ja kiintoaineksen keskimääräisen vuosikuormituksen laskemiseen peltoalueilta erityyppisissä toimenpideskenaarioissa (Huttunen ym. 2010).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 33. VIHMA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Vesistökuormitus	Malli	Asiantuntijakäyttö, lähtötietojen kerääminen työlästä	On	Ei, tutkimuskäyttö	?	Excel	2014	Kyllä

4.3.6. RUSLE2015 (JRC/LUKE)

RUSLE2015 on Suomen oloihin säädetty karttapohjainen, peruslohko-/koekenttätasolla toimiva eroosiomalli. RUSLE2015:llä voidaan arvioida päätehakkuiden aiheuttamaa eroosioriskiä tai suunnitella hakuita niin, ettei kuormitus nouse merkittäväksi vesien tilan kannalta (Tattari & Finér 2016). Eroosio aiheuttaa merkittävän määrän maatalouden fosforikuormituksesta, ja peltojen eroosioriskin kehittyminen on yksi maatalouden kansainvälisistä ympäristöindikaattoreista (Lilja ym. 2017). Maatalouden ympäristötoimenpiteiden suuntaamiseksi peltojen eroosioriskin arviointi on tärkeää ja peltolohkot, ja jopa niiden osat, on kyettävä luokittelemaan eroosioriskin suhteen.

RUSLE:n tulosten avulla voidaan paikallistaa ne kohteet, joissa kiintoainekuormitus on suurta ja joissa hankkeiden toteutuksessa on noudatettava erityistä varovaisuutta. RUSLE-mallisovellus mahdollisti ensimmäisen kerran kiintoainekuorman laskemisen kohdekohtaiset ominaisuudet huomioiden (Tattari ym. 2017). Mallilla voidaan laskea pintavirtausta useilla eri algoritmeilla ja virtausta voidaan ohjata käytetyn muokkaussuunnan mukaan (Tattari & Finér 2016). Mallia on toistaiseksi Suomessa hyödynnetty peltolohkoilla, mutta mallin käyttö voidaan laajentaa metsätalouteen uudistamishakkuiden vaikutusten arviointiin.

RUSLE2015 on kaukokartoitusaineistoa ja paikkatietoa laajasti hyödyntävä eroosiomalli 100 m:n erotuskyvyllä. Mallin kaikki syötteet (sade, maaperä, maankäyttö ja hallinta vuodelta 2010), pinnanmuodot ja suojelutoimenpiteet on vertaisarvioitu tieteellisesti (Freshabit 2019).

RUSLE2015-malli voi tuottaa realistisia arvioita eroosiosta haastavissa boreaalisissa olosuhteissa koeruututasolta kuntatasolle maatalousmailla sekä mahdollisesti myös metsätalousmailla (Tattari ym. 2017). RUSLE2015-mallinnusta tulee kehittää siten, että eroosiota voidaan laskea maanmuokkausmenetelmittäin. Tattari ym. (2017) mukaan olennaista olisi tarkastella turvemaiden uudistamisaloja erikseen, sillä RUSLE2015 malli ei sisällä uomaeroosion kuvausta, joka voi olla turvemaiden ojitusmätästysalueilla merkittävä kiintoainekuormituksen suuruutta selittävä tekijä.

KOTOMA-hankkeessa on julkaistu RUSLE 2015- karttapalvelu, jossa aineisto on nähtävissä kahden metrin resoluutiolla.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 34. RUSLE2015.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Vesistökuormitus, eroosioriski	Malli	Asiantuntijakäyttö	?	Ei	?	?	2017	

4.3.7 Itämeri-laskuri (SYKE)

Itämeri-laskurilla kotitalous tai yksityishenkilö voi selvittää kulutustottumustensa vaikutuksia Itämeren ravinnekuormitukseen. Ravinnepäästöjen tiedot muutetaan lopuksi yhdeksi luvuksi, Itämeri-jalanjäljeksi. Tässä niin sanotussa rehevöitymisindeksissä typpi- ja fosforipäästöt muutetaan yhteismitalliseksi rehevöitymisen suhteen. Henkilökohtaisten kulutustottumusten muuttamisen lisäksi kuormitusta voidaan vähentää muun muassa maatalouden vesiensuojelutoimilla sekä yhdyskuntien jätevesien puhdistusta tehostamalla.

Itämeri-jalanjälki ottaa huomioon fosforin ja typen, jotka ovat Itämeren rehevöittävät pääravinteet. Laskurissa ovat mukana kaikki tärkeimmät kuormittavat ja kuormitusta kompensoivat tekijät. Kuormitusta aiheutuu ravinnon tuotannosta, asumisen ja loma-asumisen jätevesistä, energian kulutuksesta, liikumisesta ja muusta kulutuksesta. Ravinnepäästöjä kompensoivina tekijöitä ovat luonnonkalan kulutus ja kalastus.

Laskuri antaa suuruusluokka-arviot eri kulutuksen osa-alueiden ravinnekuormituksesta. Laskuri perustuu tilastotietoihin, malleihin ja tutkimustuloksiin. Kaikilta osin taustatieto ei ole vielä kattavaa. Esimerkiksi luomutuotannon ja lemmikkieläinten vaikutusta Itämeren ravinnekuormitukseen ei kyetä toistaiseksi ottamaan huomioon. Erittäin suuri epävarmuus liittyy kulutuksemme aiheuttamiin ravinnepäästöihin Itämeren muissa maissa. Tämä tuonnin osuus on mallissa aliarvioitu, mutta tällä puutteella ei ole kuitenkaan käytännön merkitystä mallin antamamaan kokonaiskuvaan. (SYKE 2017a)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 35. Itämeri-laskuri

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Doku- mentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasai- suus	Hyödyn- nettävyys
Vesistö- kuormitus	Työkalu	Helppo	On	On	Ilmainen	Selain	2018	Kyllä, ku- luttajava- linnoissa

4.3.8 VIRVA (SYKE)

VIRVA on SYKEssä kehitetty suoraviivainen ja helppokäyttöinen Excel-laskentamalli. Mallilla voidaan arvioida vedenlaadun, erityisesti rehevyyden, vesistön vaikutusta virkistyskäyttöarvoon, ja mallissa vedenlaadun muutos vaikuttaa virkistäytymisestä koettuun hyötyyn. Virkistäytymishyötyä tarkastellaan virkistyskokemuksen laadun ja määrän pohjalta. VIRVA-mallilla voidaan määrittää vesistön nykyinen virkistysarvo sekä hyödyt siitä, jos veden laatua parannetaan. Tiedot vedenlaadusta on kerätty kyselyillä ja haastatteluilla. (SYKE 2014a)

Esimerkiksi vedenlaadun heikentymisen seurauksena virkistäytymisen miellyttävyys vähenee, käyttäjälle voi aiheutua lisätyötä tai lisäkustannuksia, käytön määrä vähenee sekä ääritapauksessa vesistöä ei ole enää mahdollista käyttää lainkaan virkistykseen. (SYKE 2014a). VIRVA-mallia on sovellettu seitsemällä vesistöalueella, muun muassa Paimionjoella (Ignatius 2012).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 36. VIRVA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Doku- mentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasai- suus	Hyödyn- nettävyys
Vedenlaa- dun vaikutus virkistysar- voon	Työ- kalu	Helppo	On	On	Ilmainen	Excel	2014	Kyllä

4.3.9. Zonation (Helsingin yliopisto)

Zonation-ohjelmisto on Helsingin yliopistossa kehitetty vapaasti saatavilla oleva päätöksenteon apuväline. Sitä voi käyttää ekologiaan pohjaavaan maankäytön suunnitteluun, sovelluksiin suojelualueiden suunnittelussa ja ekologisten haittavaikutusten välttämiseen. Zonation-ohjelmisto hyödyntää monipuolisia tietoja suuren tarkkuuden analyyseissä laajoille alueille. Ohjelmisto käyttää paikkatietoaineistoja biodiversiteetti- ja elinympäristö- (lajit, elinympäristöt, ekosysteemipalvelut) esiintymisestä, kustannuksista ja uhkista. Lisäksi se pystyy hyödyntämään tietoa muun muassa epävarmuuksista ja kytkeytyvyydestä. Zonationin tärkeä ominaisuus on, että se pystyy käsittelemään biodiversiteetin lukuisia ulottuvuuksia priorisoinnin aikana. Ohjelmisto toteuttaa suuren määrän laskennallisia menetelmiä yhdessä paketissa, mikä mahdollistaa sen soveltamisen moniin erilaisiin kysymyksiin.

Zonationin tyypillisiä käyttötarkoituksia ovat:

- Suojelualueverkoston suunnittelu
- Suojelualueverkoston laajennuksen suunnittelu
- Suojelualueverkoston arviointi
- Kaavoituksen tukeminen
- Ekologisten haittojen minimointi spatiaalisen suunnittelun avulla

- Elinympäristöjen ennallistamisen kohdentamisen suunnittelu
- Ekologisen kompensaation kohdentaminen
- Muut maankäytön suunnittelun sovellukset suojelusuunnittelun ulkopuolella

Zonation-analyysissä käytetään luonnosta kerättyjä, paikkatietojärjestelmiin tallennettuja tietoja. Zonationin avulla voidaan analysoida valittujen muuttujien avulla alueiden välistä edustavuutta luontoarvojen näkökulmasta sekä esimerkiksi alueen merkitystä suojelualueiden kytkeytyvyyden edistämisessä. Työkalun graafinen käyttöliittymä ei ole avoin, mutta itse työkalun lähdekoodi on avoimesti saatavilla GitHubissa. Työkalun tarkemmat periaatteet käyttöoppaassa. (SYKE 2018b).

Zonation-ohjelmistoa on käytetty esimerkiksi arvokkaimpien luontoarvojen tunnistamisessa kaava-projekteissa. (Kuusterä ym. 2015) Zonationia on myös käytetty METSON toimintaohjelmassa tunnistamaan arvokkaita ja monimuotoisia metsäalueita, joiden suojeluun tulisi kohdistaa toimia (Mikkonen ym. 2018). Lisäksi metsänomistajille tuotettiin tietoa omistamiensa alueiden mahdollisesta soveltuvuudesta METSO-ohjelmaan.

Maankäytön kestäväää suunnittelua voidaan tukea myös KEKO-työkalulla (luku 4.1.4.5).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 37. ZONATION.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Luontoarvot	Työkalu	Asiantuntijakäyttö	On	Koodi avoin, lataus avoin, käyttöliittymä ei avointa lähdekoodia	Ilmainen	Python	2015	Kyllä

4.3.10 YASSO (Ilmatieteen laitos)

YASSO on dynaaminen malli maaperän hiilimäärän, hiilimäärän muutosten ja heterotrofisen maahengityksen laskemiseen. Mallin sovelluskohteita ovat maankäytön ja ilmastonmuutoksen vaikutukset maaperän hiilivarastoon sekä kasvihuonekaasujen inventaariot.

YASSO estimoi metsä- ja peltomaiden hiilitaseen muutoksia. Mallia voidaan hyödyntää arvioitaessa erilaisten maankäyttömuotojen, kuten metsien hakkuiden, puunkorjuun sekä peltojen viljelykäytön, vaikutuksia hiilitasapainoon ja ilmastonmuutokseen. Lähtötietoina käytetään karikesyötettä (MELA) ja säädataa (keskimääräinen vuosittainen lämpötila, vuosittainen sadanta sekä kuukausittainen minimi- ja maksimilämpötila). YASSOa on käytetty yhdessä MELA-mallin kanssa hiilinielujen vertailutason määrittämisessä.

YASSOn validiteettia on testattu linkittämällä se Luken MOTTI-malliin. Työkalu on ilmainen ja avoimesti saatavilla. YASSO15 lähdekoodi on saatavilla Ilmatieteen laitokselta. Yasso mallista on myös virallinen R-versio. Malli on validitoitu useissa eri tutkimuksissa, jotka on kuvattu mallin kotisivuilla (Ilmatieteenlaitos 2017).

Lisätietoja Repo ym. (2017).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 38. Yasso.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Doku- mentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasai- suus	Hyödynnet- tävyyys
Maaperän hiilitase, maahengi- tyksen määrä	Työ- kalu	Asiantun- tajakäyttö	On	Lähde- koodi saatavilla	Ilmainen	Python; Fortran; R	2017	Kyllä

4.3.11. LUONNIKAS (Aronia) ja ESLAB: Kuntatason hiilitaselaskuri (SYKE)

LUONNIKAS-laskentatyökalun avulla voidaan arvioida metsien, maatalousmaan, vesistöjen ja soiden hiilidioksidin ja metaanin sidonta tai päästöt, sekä metsälannoituksen typpioksiduulipäästöt. Lisäksi mallilla voidaan laskea bioenergian hiilidioksidipäästöt. Työkalua on kehitetty tutkimusinstituutti Aro-niassa Koneen Säätiön rahoituksella. Tarkoituksena on tuottaa taustatietoa kunnalliseen ilmastotyöhön ja lisätä tietoa kasvihuonekaasuista luonnossa ja hiilen kierrosta kokonaisuutena sekä tuoda esiin maan-käytön merkitys kunnan hiilitaseen säätelyssä. LUONNIKAS on Excelissä toimiva, helpokäyttöinen sovellus, mutta sen käyttö vaatii jonkin verran asiantuntemusta ja runsaasti erilaista lähtödataa liittyen hakkuisiin, viljelyyn ja pinta-aloihin.

Työkalulla voidaan laskea osa LULUCF-sektorin päästöistä kansallista kasvihuonekaasuinventaa-riota vastaavin menetelmin. Joitakin osa-alueita on jouduttu jättämään tarkastelun ulkopuolelle tarvitta-van kuntatason tiedon puutteen vuoksi. Tällaisia ovat metsäpalojen ja kulituksen päästöt ja pellon rai-vauksesta syntyvät N₂O-päästöt sekä puutuotteisiin sitoutuva hiili. Myös maaperässä luontaisesti syntyvät N₂O-päästöt puuttuvat. Toisaalta laskuri tuottaa järvien, jokien ja merenrantojen ruovikkoalu-eilla syntyvät hiilidioksidi- ja metaanipäästöt, joita ei yleensä raportoida valtion tai kuntien päästöinven-taarioissa. (Haaspuro 2013)

Osana Suomen ympäristökeskuksen Envibase-hanketta LUONNIKAS-mallia tarkennettiin metsien mi-neraalimaan osalta YASSO15-mallin avulla. Lisäksi luontoperäisen hiilitaseen rinnalle tuotiin ihmistoi-minnan aiheuttamat, Tilastokeskuksen laskemat päästökaupan ulkopuoliset päästöt. Tuloksista on jul-kaistu ESLAB Kuntatason hiilitaselaskuri (SYKE 2016).

[Linkki verkkosivulle - Luonnikas](#)

[Linkki verkkosivulle - ESLAB](#)

Taulukko 39. Luonnikas ja ESLAB.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumen- taatio	Avoi- muus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasai- suus	Hyödyn- nettävyyys
Maaperän hiilitase	Työ- kalu	Asiantunti- jakäyttö	On	On	Ilmainen	Excel	2016	Kyllä

4.3.12 Muut

Metsäalueiden vesistökuormitus

KUHA (Luke)

KUHA-malli auttaa tunnistamaan kuormituksen kannalta tärkeät ja vähemmän tärkeät metsätalouden toimenpidealueet. Mallilla voidaan myös arvioida toimenpiteen toteutumisajankohdan vaikutuksia kokonaiskuormaan. Tuloksena saadaan vesistöön päätyvä laskennallinen typpi-, fosfori- ja kiintoainekuormitus sekä mahdollinen suositus vesiensuojelun tehostamisen tarpeesta. (Tattari & Finér 2016)

Parhaiten KUHA-laskenta näyttää sopivan menneen toiminnan ja tulevaisuuden toimintavaihtoehtojen keskinäiseen vertailuun samalla valuma-alueella. KUHA-työkalua voidaan hyödyntää esimerkiksi yksittäisten uudistamishakkuualueiden, kunnostusojitusalueiden sekä lannoitusalueiden kuormittavuuden sekä erilaisten vesiensuojelutoimenpiteiden ja – rakenteiden tehokkuuden vertailussa. Silloin vaihtoehtojen suhteelliset erot lienevät suurella todennäköisyydellä oikean suuntaisia. (Tattari ym. 2017)

KUHA:n laajamittaista käyttöä rajoittaa vielä toistaiseksi se, että tieto metsätalouden kuormitusta aiheuttavista toimenpiteistä ja kuormituksen suuruuteen vaikuttavista tekijöistä joudutaan usein keräämään taulukkoihin työläällä tavalla (Tattari ym. 2017). Tietoja tarvitaan muun muassa valuma-alueen metsänkäsitelyhistoriasta kunnostusojitusten, uudistamishakkuuiden ja lannoitusten osalta sekä mahdollisesta tulevasta metsänkäsitelystä (Freshabit 2019).

KUHA-malli on tehty Excel-pohjalle, jonne syötetään eri metsätalouden toimenpiteet tietoineen omille välilehdilleen. Laskenta perustuu kokonaisfosforin ja kokonaistypen ominaiskuormituslukuihin.

[Linkki verkkosivulle.](#)

NutSpathy (Luke)

NutSpathy -mallilla lasketaan metsäisten latvavaluma-alueiden typpi- ja fosforikuormitusta vesistöön. Sen lähtötietoina käytetään Luonnonvarakeskuksen ja Geologian tutkimuskeskuksen kartta-aineistoja sekä Ilmatieteen laitoksen säätietoja. Laskenta tapahtuu karttakillassa, jossa yksittäisen ruudun koko on 16 m x 16 m. Kartta-aineistosta tiedetään kunkin hilapisteen puusto (puulaji, ikä, pituus, tilavuus, kasvu- paikka), maalaji ja topografia. Typpi- ja fosforikuormituksen laskentaa varten tarvitaan valunnan lisäksi valumaveden typpi- ja fosforikonsentraatio. (Freshabit 2019)

NutSpathy on moderni laskentasovellus, joka mahdollistaa karttapohjaisen aineiston käytön laskennassa vanhoja malleja paremmin. NutSpathy ei sisällä kiintoainelaskentaa, mutta sitä varten voidaan käyttää RUSLE-, VEMALA- ja KUHA-malleja. NutSpathyssä ravinteet lasketaan massataseina ja varastoina, ja niiden päätyminen vesistöön empiiristesti etäisyyden funktiona purkupisteeseen. (Tattari & Finér 2016). NutSpathy on käytetty yhdessä mm. VEMALAn kanssa.

[Linkki verkkosivulle.](#)

FEMMA (LUKE)

Metsän vesi- ja ravinnevirtamalli.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Merenhoito

FICOS (SYKE)

Asiantuntijat voivat hyödyntää kehitettyä FICOS-mallijärjestelmää vesien- ja merenhoidon toimenpiteiden suunnittelussa, meren tilan seurannan tukena ja erilaisten ihmistoimintojen vesistövaikutusten

arvioinnissa. Lisäksi se soveltuu työkaluksi lupapäätösten valmisteluun. FICOS laskee typpi- ja fosforiravinteiden lisäksi leväbiomassan ja klorofyllin pitoisuuden rannikkoalueilla päivän tarkkuudella.

FICOS käyttää syötteinään ravinnekuormia, veden virtaus- ja lämpötilatietoja sekä auringon säteilymääriä. Valuma-aluekuormitus lasketaan VEMALA-mallilla. Valuma-aluekuormitus yhdistetään rannikkoalueen pistekuormittajiin, ilmakehän aiheuttamaan kuormitukseen, sisäiseen kuormitukseen ja ulkomereltä tulevaan ulkoiseen kuormitukseen. Virtaukset, veden lämpötila ja suolaisuus on mallinnettu etukäteen jopa neljännesmerimailin (noin 460 metriä) tarkkuudella rannikkoalueesta riippuen joko COHERENS- tai NEMO-virtausmallilla.

FICOS pystyy simuloimaan leväbiomassan (typeä sitovat sinilevät ja muut levät), a-klorofyllin ja ravinteiden vuotuisen kehityksen tason (konsentraatiot) ja dynamiikan. Malli ei suoraan sovellu kuntien itsenäiseen käyttöön (Tattari ym. 2017). Lisätietoja Lignell ym. (2018: 75–76)

[Linkki verkkosivulle.](#)

NEMO

Merimalli. Avoin lähdekoodi.

[Linkki verkkosivulle.](#)

COHERENS (Royal Belgian Institute of Natural Sciences)

Rannikkomerien ja järvien 3D-mallinnus muun muassa haitta-aineiden kulkeutumisen arviointiin. Avoin lähdekoodi.

[Linkki verkkosivulle.](#)

CLR (SYKE)

CLR (Coastal Load Response) on pilottikäytössä oleva rannikkoalueiden ekologinen ennustemalli ja kuormitusvähennystarpeen arviointimalli. Malli soveltuu erityisesti jokivesivaikutteisten rannikkovesimuodostumien mallintamiseen. Työkalua käytetään jatkossa rannikkovesien tilaluokituksen luotettavuuden arviointiin ja tarvittavien vesienhoitotoimien mitoittamiseen. Työkalu hyödyntää sekä rannikkovesien seuranta-aineistoa että muiden mallien tuottamaa tietoa vesialueiden kuormituksesta ja veden vaihtumisesta.

CLR:n ravinteiden pidättymis- ja klorofylli-a -malli vastaavat LLR:n parametrisointia. Näiden lisäksi CLR:ssä on käytetty logistista regressiomallia kasviplanktonin biomassan ja kukinnan todennäköisyyksien arviointiin.

Työkalu soveltuu erityisesti sellaisiin arviointikohteisiin, joissa Saaristomerelle aiemmin kehitetyn FICOS-kokonaiskuormitusmallin erottelukyky ei ole saariston ja rantaviivan rikkonaisuuden takia riittävä. Malli ei suoraan sovellu kuntien itsenäiseen käyttöön. (SYKE 2017b)

[Linkki verkkosivulle.](#)

SWAT (Teksasin yliopisto)

Suurehkojen valuma-alueiden valunnan, eroosion ja ravinnehuuhtoumien, haitallisten aineiden ja taudinaiheuttajien arviointiin sekä valuma-alueella tehtävien toimenpiteiden vaikutusten vertailuun kehitetty malli. Avoin lähdekoodi.

[Linkki verkkosivulle.](#)

MACRO/FOKUS (Uppsalan yliopisto)

Malleilla arvioidaan kasvinsuojeluaineiden hajoamista, sitoutumista ja kulkeutumista veden mukana maaperässä. FOCUS-perheen malleja käytetään kasvinsuojeluaineiden tehoaineiden rekisteröinnissä EU:ssa. MACRO on annettujen lähtötietojen ja sääaineiston avulla veden liikkeitä, torjunta-aineiden

hajoamista ja sitoutumista sekä kulkeutumista veden mukana maaprofiilissa ja sieltä pois (Siimes & Alakukku 2008).

Täysin Suomen oloihin sopivaa torjunta-aineiden käyttäytymismallia ei ole saatavilla. MACRO-malli on aiemmin nähty olemassa olevista malleista Suomen oloihin parhaiten sopivana. Malli pystyy ottamaan huomioon myös ohivirtaamat ja salaojitukset, mutta se ei sovellu pintavalunnan kuvaamiseen. Tämän vuoksi torjunta-aineiden sekoittumista maakerrokseen muokkauksien yhteydessä ei voida mallintaa. Mallien lähdekoodi on Uppsalan yliopistolla.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Pohjavesi

PHREEQ-C / PHT3D (USGS)

Pohjaveden geokemian mallintaminen. Pohjavedessä olevien aineiden käyttäytymisen arviointi. Laskentakoodi ja käyttöliittymä saatavilla ilmaiseksi.

[Linkki verkkosivulle.](#)

MODFLOW (USGS)

Differenssimenetelmään perustuva pohjaveden virtauksen ja aineen kulkeutumisen mallintaminen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Feflow (DHI Group)

Kaupallinen elementtimenetelmään perustuva pohjaveden virtauksen ja aineen kulkeutumisen mallintaminen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

HGS (Aquanty)

Pinta- ja pohjavesimalli, jonka pohjavesivirtauksen kuvaus on VEMALA-mallia monimutkaisempi.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Maatalous

ICECREAM (SYKE)

ICECREAM on peltolohkon ravinneprosesseja kuvaava laskentamalli. Se simuloi maataloudesta tulevaa partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) ja fosfaatin (PO_4^{3-}) kuormitusta sekä eroosiota peltomittakavassa. Työkalulla viljelijä voi tehdä ICECREAM simulaatioita omille pelloille itsenäisesti. Malli on ollut Suomessa tutkimuskäytössä 1990-luvulta alkaen. ELY-keskukset käyttävät VEMALA/ICECREAM-mallinnusjärjestelmää vesienhoidossa. Lähtötietoina käytetään viljelymenetelmiä, satokasveja, lannoitteita ja sadonkorjuuaikaa. ICECREAM käyttää reaaliaikaisia säätietoja.

Mallin tuloksena saadaan seuraavat tiedot: simuloitu sato (t/vuosi), kasveille käyttökelpoinen maa-vesi (mm), päivittäinen valunta (mm), vuosittainen N-huuhtouma (kg/ha), vuosittainen P-huuhtouma (kg/ha) ja eroosio (kg/ha). Mallia on validoitu peltokohtaisia mittauksia ja jokien pituushavaintoja vastaan. Työkalu sijaitsee SYKEN laskentajärjestelmässä, johon tarvitaan käyttöoikeussopimus ja käyttäjätunnus (SYKE 2019). Lisätietoja Jaakkola ym. (2012).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taloustohtori (LUKE)

Verkkopalvelu, joka tarjoaa raportteja ja ennusteita maataloustuotantoon.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Teho+ laskurit (MTT)

Ravinnetase; fosfori-, lannoite- ja lantalaskuri. Suunnattu viljelijöille.

[Linkki verkkosivulle.](#)

AGMEMOD (JRC)

Mallin avulla tehdään projektioita ja simulaatioita toimenpiteiden ja linjausten arvioimiseksi EU- ja kansallisella tasolla.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Suomen normilanta-järjestelmä (SYKE/LUKE)

Järjestelmä laskee lantojen määrän ja ominaisuudet massataseena aina eläinten ruokinnasta ja erityyppisestä eläinsuojan ratkaisujen kautta varastoituun lantaan. Lisätietoja Luostarinen ym. (2017).

[Linkki verkkosivulle.](#)

BioCode (ProAgria)

Maidontuotannon ilmastovaikutukset. Mahdollistaa tuotantoketjun ympäristötunnuslukujen tuottamisen, analysoimisen ja jakamisen

[Linkki verkkosivulle.](#)

Maaperän hiilitase

FORMIT-M (Helsingin Yliopisto)

FORMIT-M on avoimen lähdekoodin helppokäyttöinen, ilmastonmuutoksen huomioiva metsänkasvu- ja hiilitasemalli (Härkönen ym. 2019).

[Linkki verkkosivulle.](#)

SIMO-metsikkösimulaattori (Simosol)

Yleis- ja asemakaavatasolla käytettäväksi tarkoitettu työkalu, jolla voi arvioida alueen kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastojen muutosta, joka aiheutuu maankäytön muutoksesta.

[Linkki verkkosivulle.](#)

C-Tool (Aarhusin yliopisto)

Maaperän hiilivaraston ja -taseen laskentatyökalu etenkin maatalousmaille.

[Linkki verkkosivulle.](#)

DNDC (New Hampshiren yliopisto)

Malliperheellä voidaan mallintaa maaperän hiilen ja typen biokemiallisia reaktiota ja saada tietoa ekosysteemien toiminnasta.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Muut vesistömallit

WSFS (SYKE)

Koko Suomen kattava vesistömallijärjestelmä, jolla ennustetaan mm. vesistöjen vedenkorkeuksia ja virtaamia sekä pohjaveden korkeuksia, varoitetaan tulvista ja kattojen lumikuormista sekä lasketaan vesistöjen ravinnekuormitusta Itämereen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

VALUE (SYKE)

Valuma-alueen rajaustyökalu. helppokäyttöinen. Kertoo käyttäjälle kohteen, uoman tai järven, yläpuolisen valuma-alueen maankäyttöjakauman

[Linkki verkkosivulle.](#)

KAVERI (Opasnet)

Malli mahdollistaa kaivosvesistä aiheutuvien terveys- ja viihtyvyyshaittojen sekä ekologisten/ekotoksikologisten haittojen arvioinnin.

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.4. Taloudelliset vaikutukset

Ilmastotoimenpiteiden taloudelliset vaikutukset nähdään usein kustannuserinä, mutta investoinneilla voi usein olla aluetaloudellisia positiivisia vaikutuksia taloudellisen toimeliaisuuden, uusien liiketoimintamahdollisuuksien ja työllisyyden kautta. Energiategokkuuden parantaminen ja investoiminen uusiutuvaan energiaan voi olla tapauskohtaisesti hyvinkin kannattavaa, ja esimerkiksi liikenteen toimenpiteiden terveysvaikutuksia voi mitata rahallisina hyötyinä (IHKU ja HEAT, ks. luku 4.2).

Talousvaikutusten arvioinnissa voidaan hyödyntää ympäristölaajennettuja panos-tuotosmalleja. ENVIMATilla (ks. luku 4.1.2.1) arvioidaan Suomessa käytettyjen tuotannon ja loppukäytön ympäristö-, talous- ja työllisyysvaikutuksia kansallisella tasolla. Alueellinen panos-tuotosmalli ENVIREGIO (luku 4.4.1.) toimii maakunta- tai seutukuntatasolla. Lainsäädännöllisten muutosten vaikutuksia kansalaisten ja kotitalouksien taloudelliseen asemaan voidaan arvioida SISU-mallilla (luku 4.4.7). Kiertotaloutta edistävän jätehuollon järjestämisen kustannusvaikutuksia voi tutkia LAJITEHO-laskurilla (luku 4.4.3). Lisäksi käytettävissä on sektoreittain esimerkiksi vesiensuojeluun, metsätalouteen ja maatalouteen kohdistuvia kattavia ja monipuolisia talousmalleja. MOTTI-ohjelmistoa (luku 4.4.6) voidaan hyödyntää erilaisten metsänhoitovaihtoehtojen taloudellisen kannattavuuden arvioinnissa.

Erityisesti ilmastotoimenpiteiden taloudellisten vaikutusten tarkasteluun suunnattuja laskentamalleja ei ole tässä raportissa tunnistettu, mutta useissa aiemmin esitellyissä työkaluissa on taloudellinen ulottuvuus. CCaLC2-elinkaarilaskennan työkalulla (luku 4.1.2.3) voidaan arvioida tuotantoketjun valintojen vaikutuksia arvonlisäykseen. IVAR-ohjelmisto (luku 4.1.3.2) laskee tiehankkeiden kunnossapito- ja ajoneuvokustannukset ja muuntaa aika-, onnettomuus- ja päästövaikutukset rahamääräisiksi. Myös vaikutukset julkiseen talouteen mallinnetaan polttoaine- ja arvonlisäverojen osalta.

Energiamalli REMalla (luku 4.1.4.2) voidaan arvioida energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksia BKT:hen, työllisyyteen ja ulkoiskustannuksiin. Esimerkiksi korjausrakentamisen kannattavuutta voidaan arvioida E-PASS (luku 4.1.4.4) työkalulla. Tulevaisuudessa rakennusten hiilijalanjäljen arviointi voidaan tehdä Ympäristöministeriön työkalulla rakennusten hiilijalanjäljen arviointiin, joka on vielä pilotointivaiheessa (luku 4.1.4.3). SYKEN aurinkosähkömalli (luku 4.1.4.7) tuottaa tietoa aurinkopaneeli-investoinnin kannattavuudesta ja käyttöveden lämmityskustannusten minimoinnin mahdollisuuksista.

Työllisyystarkastelujen tekeminen on mallinnuksen kannalta haastavaa, ja niitä tehdään enimmäkseen kansallisen tason malleilla. Jotta työn tarjonnan tarkastelu olisi rakenteellisen mallin avulla mahdollista, tarvitaan luotettava ja kattava aineisto henkilöiden työtunneista ja tuntipalkoista. Lisäksi on keskeistä pystyä mallintamaan vero- ja tulonsiirtojärjestelmä siten, että henkilön hypoteettisista

bruttotuloista saadaan muodostettua verojen ja tulonsiirtojen jälkeiset nettotulot. Verot ja tulonsiirrot voidaan mallintaa SISU-mallin avulla. (Harju ym. 2018)

Työllisyystarkasteluiden tekemiseksi tarvitaan tietoa sekä tuntipalkkoista että palkkoihin vaikuttavista tekijöistä, kuten koulutuksesta, iästä ja ammatista. Soveltuvia aineistoja ovat Tilastokeskuksen palkkarakennetilasto, SISU-mallin rekisteriaineisto, joka kattaa vuosittain noin 15 prosenttia Suomen asuntokunnista ja henkilöistä, sekä FLEED-aineisto, joka on useista eri hallinnollisista rekistereistä muodostettu linkitetty työntekijä-työnantaja-aineisto. (Harju ym. 2018)

4.4.1 ENVIREGIO (SYKE)

ENVIREGIO (Environmental and Regional Input-Output Model) on alueellinen päästölaajennettu panos-tuotosmalli. Sen avulla voidaan tarkastella maakunta- tai seutukuntatasolla investointien ja muiden toimenpiteiden aluetaloudellisia ja kasvihuonekaasuvaikutuksia. Mallissa talouden kuvaukseen on kytkeyty toimialakohtaiset ekvivalentit kasvihuonekaasupäästöt.

Malli on toteutettu pääsin R-ohjelmalla, ja apuna käytetään myös Exceliä. Käytettävät tietoaineistot ovat valtaosin Tilastokeskuksesta (osa ilmaisia, osa maksullisia), mutta erilaisten skenaarioiden mallintamiseksi on kerättävä erilaisia hintatietoja lukuisista avoimista lähteistä.

Mallilla voidaan analysoida investointivaikutuksia tuotoksen, arvonlisäyksen ja työllisyyden osalta. Tarkastelu sisältää sekä suorat että välilliset vaikutukset. Lisäksi tarkastelun kohteena ovat investointien tulovaikutukset ja jatkuvan toiminnan vaikutukset. Kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista analysoida sekä investointien että jatkuvan toiminnan (vuosittaiset päästöt) osalta.

Mallin avulla on arvioitu hajautetun uusiutuvan energian hyödyntämisen vaikutuksia aluetalouteen ja kasvihuonekaasupäästöihin Pohjois-Pohjanmaalla (Savolainen ym. 2019). Mallinnus toteutettiin potentiaaleihin perustuvana skenaariotarkasteluna. Uusiutuvan energian tarkasteltavia potentiaaleja olivat metsäbioenergia, aurinkoenergia, tuulivoima ja maalämpö- sekä ilmalämpöpumput. Skenaarioissa tarkasteltiin tuulivoimainvestointeja, aurinkoenergiainvestointeja erilaisiin kiinteistöihin, lämpöpumppujen asentamista öljy- ja sähkölämmitteisiin kiinteistöihin sekä turpeen ja kevyen polttoöljyn korvaamista metsähakkeella etenkin kaukolämmön tuotannossa.

Vaikutuksia arvioitiin maakunnan ja kolmen seutukunnan tasolla. Tulokset osoittivat, että energiapotentiaalien käyttöönotosta seurasi positiivisia aluetaloudellisia vaikutuksia tuotokseen, arvonlisään sekä työllisyyteen. Samalla pystyttiin vähentämään khk-päästöjä.

Mallia voidaan käyttää monipuolisesti investointien ja jatkuvan toiminnan talousvaikutusten arviointiin. Olennaisena kriteerinä on tarkasteltavien toimien muuttaminen euroiksi – oli sitten kyseessä suuri tuulivoimainvestointi tai pyöriteiden laaja-alainen rakentaminen. Toimenpiteiden talousvaikutukset voidaan esittää toimialoittain ja koko aluetalouden tasolla tuotoksen, arvonlisäyksen ja työllisyyden muutoksina. Samalla pystytään tuottamaan tiedot päästövaikutuksista. Mallilla tuotetut tulokset mahdollistavat myös erilaisten teknologioiden tai toimenpiteiden keskinäisen vertailun ja järjestykseen laittamisen suhteuttamalla vaikkapa työllisyysvaikutuksia ja päästövähennyksiä investoituihin euroihin tai asennettuun tehoon (MW). ENVIREGIO-mallia on mahdollista laajentaa sisältämään esimerkiksi vaikutukset julkiseen talouteen verojen kautta. Tällä hetkellä mallin käyttäminen edellyttää siihen perehtyneen tutkijan työpanosta, mutta malli on kehitettävissä helppokäyttöiseksi laskentatyökaluksi.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 40. ENVIREGIO.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Doku- mentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasai- suus	Hyödyn- nettävyys
Tuotos, ar- vonlisä, työl- lisyys, khk- päästöt	Malli	Vaativa	On	Ei	Ilmainen	R ja Ex- cel	2014, päivi- tettävissä tuoreem- paan	Kyllä

4.4.3 LAJITEHO (SYKE)

Jäteyhteisöiden käyttöön suunniteltu LAJITEHO laskee painoperusteiset hinnat kotitalouksien sekajätteelle ja kierrätettävälle jätelajeille. Laskurin perustana on taloudellisen ohjauksen hinnoittelumalli, jonka tarkoituksena on lisätä kotitalousjätteiden syntypaikkalajittelun tehokkuutta. Mallissa sekajätteen hinnoittelu sidotaan kiinteistölle tarjottavaan palvelutasoon, eli lajitteluvaihtoehtojen määrään. Sekajätteen käsittelymaksuosuudella subventoidaan eli tuetaan kierrätettävien jätelajien käsittelyn, keräyksen ja kuljetuksen kuluja. Malli laskee uudet hinnat niin, että uusilla hinnoilla katetaan jätteiden keräyksen, kuljetuksen ja käsittelyn kustannukset.

Hinnoittelutyökalua voidaan käyttää jätetaksojen määrittelyssä ja kustannusten laskennassa, tehdä erilaisia skenaariotarkasteluja ja laatia viestintää tehostavia aineistoja ja kaavioita. Excel-pohjainen laskuri tuottaa myös viestintään soveltuvaa graafista aineistoa.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 41. LAJITEHO.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Doku- mentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasai- suus	Hyödyn- nettävyys
Jätejakei- den hin- nat	Laskuri	Helppo	On	On	Ilmainen	Excel	2017	Kyllä

4.4.4 KUTOVA (SYKE)

Kustannustehokkaiden vesiensuojelutoimenpiteiden valintatyökalu KUTOVA on ilmainen ja avoin Excel-työkalu, jolla voidaan arvioida eri vesiensuojelutoimenpiteiden tai niiden yhdistelmien kustannustehokkuutta ja niillä saavutettavissa olevaa fosforikuormituksen vähenemää maatalouden, metsätalouden, haja-asutuksen ja turvetuotannon osalta. KUTOVA laskee hintalapun yhden fosforikilon vähentämiselle (€/fosforikilo). Työkalua on sovellettu ja kehitetty eri hankkeissa Temmesjoen, Kalajoen, Lapuanjoen, Karvianjoen, Paimionjoen ja Vantaanjoen vesistöalueilla sekä Hiidenveden, Vanajanselän ja Läntisen Pien-Saimaan valuma-alueilla.

KUTOValla laskettava kustannustehokkuus ei ota erikseen huomioon toimenpiteiden toteutettavuutta, hyväksyttävyyttä tai mahdollisia muita vaikutuksia ja hyötyjä, joten kustannustehokkaiden toimenpiteiden yhdistelmä ei välttämättä ole käytännössä toteutettavissa. Mallilla voidaan kuitenkin saada tietoa siitä, mihin toimenpiteitä kannattaa suunnata ja panostaa. Herkkyys- ja epävarmuustarkastelu tehdään kustannustehokkuuden vaihteluväliä arvioimalla.

Työkalun lähtötietoja ovat kuormitus sektoreittain, toimenpiteiden maksimialat ja maatalouden toimenpiteiden osalta vaikutukset kuormituksen vähentymiseen. Lähtötiedot kerätään pääasiassa Suomen ympäristökeskuksen vesistömallijärjestelmän vedenlaatuosiosta (VEMALA) sekä viljelyalueiden

valumavesien hallintamallista (VIHMA), Suomen ympäristökeskuksen vesistökuormitusjärjestelmästä (VEPS) ja valvonta- ja kuormitustietojärjestelmästä (VAHTI). Metsätalouden toimenpiteiden osalta lähtötietoja (hakkuuala ja kunnostusojitusala) täytyy pyytää metsäkeskukselta tai arvioida muulla tavoin. Viemäroimattoman haja-asutuksen määrää voidaan arvioida esimerkiksi rakennus- ja huoneistorekisterin (RHR) tietokannan perusteella. Malliin on lisäksi sisällytetty tietoa toimenpiteiden kustannuksista ja vaikutuksista päästöihin. (Hjerppe 2013)

Kutovaa on käytetty mm. Paimionjoella, kun on selvitetty kustannustehokkuutta eli kuinka paljon maksaa yhden fosforikilon vähentäminen ja maksimireduktiota eli kuinka paljon kyseisellä toimenpiteellä voidaan enintään vähentää kokonaisfosforikuormitusta vuodessa. Jos toimenpiteisiin käytettävissä oleva rahamäärä on tiedossa, voidaan laskea optimaalinen toimenpideyhdistelmä. Maatalouden toimenpiteiden osalta hyödynnettiin VIHMA-mallia (Ahopelto 2011). Lisätietoja Hjerppe & Väisänen (2015).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 42. KUTOVA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
Suojelutoimenpiteen kustannustehokkuus, Jätejakeiden hinnat	Työkalu	Helppo, mutta syötötiedot osin vaativat muita malleja (VEMALA, VIHMA)	On	On	Ilmainen	Excel	2013	Kyllä

4.4.5 MELA (Luke)

MELA on Suomen oloihin kehitetty metsätalouden analyysi- ja suunnitteluohjelmisto, jonka avulla voidaan tuottaa mm. valtakunnallisia ja alueellisia metsien käyttömahdollisuusarvioita ja niitä vastaavia metsien lähivuosisikymmenien kehitysvaihtoehtoja. MELA-ohjelmisto koostuu käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja tuottavasta yksittäisiin puihin perustuvasta metsikkösimulaattorista ja näitä vaihtoehtoja vertailevasta optimointiosasta. MELA-ohjelmistoa on sovellettu kansallisia ja alueellisia metsäohjelmia laadittaessa. Lisäksi se on käytössä suurimmissa metsäteollisuusyhtiöissä, yksityismetsätalouden edistämisisorganisaatioissa ja oppilaitoksissa. (LUKE 2017)

MELAn käyttö edellyttää lisenssin hankintaa ja se on yrityksille maksullinen. Ohjelmiston nykyinen julkistusversio MELA2016 on tarjolla useana erikokoisena toimitusversiona. MELA tulospalvelu on vapaasti kaikkien käytettävissä. Mallin alustana on J-ohjelmisto. (LUKE 2017)

NettiMELA on sovellusvuokraustyyppinen laskentapalvelu, jolla asiakkaat voivat tehdä sovitun mukaisia metsälaskelmia LUKEn palvelimella olevalla MELA-ohjelmistolla. Palvelu perustuu laskelmatilausten ja tulosten siirtoon XML-lomakkeina. Palvelu on tarkoitettu metsävaratietoja ylläpitäville yrityksille ja muille toimijoille, jotka tarvitsevat esimerkiksi ajantasaistus- ja suunnittelulaskelmia.

MELA-ohjelmisto on saanut rahoituksen sen uudistamiseen vuosille 2019–2022, ja ohjelmistoa on tarkoitus kehittää läpinäkyvämmäksi ja avoimen lähdekoodin ohjelmistokokonaisuudeksi (LUKE 2019).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 43. MELA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-taisaisuus	Hyödynnettävyys
Metsien käyttömahdollisuudet	Työkalu	Asiantuntijakäyttö	On	Ei, käytösisenssi	Toimeksianto, NettiMELA maksullinen.	J-ohjelmisto	2017	Kyllä

4.4.6 MOTTI ja SuojeluMOTTI (Luke)

MOTTI on etenkin metsänkasvatusvaihtoehtojen vertailuun tarkoitettu ohjelmisto. MOTTI-ohjelmiston avulla voidaan tarkastella metsikön erilaisten kasvatusohjelmien vaikutuksia puuston kehitykseen, hakkuukertymiin ja taloudelliseen kannattavuuteen. Sillä voidaan tarkastella metsänhoidon tai hoitamattomuuden, puulajivalinnan, kasvatusketjujen tai yksittäisten metsänhoitotoimenpiteiden vaikutuksia puuston kehitykseen, hakkuukertymiin, metsänkasvatuksen kannattavuuteen ja puustoon sitoutuneen hiilen määrään.

MOTTI tuottaa puuston kehityssennusteita kasvu- ja tuotosmallien avulla. MOTTI-ohjelmiston kasvumallit ovat pitkäaikaisen tutkimustyön tulos. Ne pohjautuvat laajoihin maastomittauksiin sekä inventointikoealoilta että pitkään seuratuilta kestokokeilta. MOTTI-ohjelmisto palvelee käytännön päätöksen teon, neuvonnan ja opetuksen tukena havainnollistaen metsikön kasvatusvaihtoehtojen puuntuotannollisia ja taloudellisia seurauksia. Sillä saadaan vertailujen tulokset nopeasti käyttökelpoisessa muodossa. MOTTIä käyttävät yritykset, oppilaitokset ja metsänomistajat käytännön päätöksen teon ja neuvonnan tukena. Ohjelmistosta on laadittu tilaustyönä sekä tieteellisten ongelmien ratkaisemiseen tarkoitettuja että yritystoimintaa palvelevia sovelluksia.

MOTTI-ohjelman käyttö on maksutonta. Ohjelmistoa tai sen osaa ei saa jakaa edelleen eikä sillä tuotettuja tuloksia saa myydä, julkaista tai muuten levittää ilman Luonnonvarakeskuksen lupaa. Ohjelmiston käyttö kaupalliseen toimintaan edellyttää Luonnonvarakeskuksen luvan. Ohjelmistoon voi tutustua 30 päivän kokeilujakson ajan. Kokeilujakson jälkeen käyttäjän tulee rekisteröidä ohjelma.

SuojeluMottilla voidaan tarkastella metsäkohteen määräaikaisen suojelun puuntuotannollisista ja taloudellisista vaikutuksista verrattuna vastaavan metsän käsittelyyn normaalina talousmetsänä. Eli paljonko metsikön määräaikaisesta suojelusta koituu nettotulojen menetyksiä (nykyarvossa) maanomistajalle verrattuna tilanteeseen, jossa metsikköä olisi käsitelty suositusten mukaisesti. Teknisesti laskenta toteutetaan SuojeluMotti-ohjelmistossa soveltamalla mm. Faustmanin kiertoaikamallia paljaan maan arvo määrittämisessä. (LUKE 2016)

MOTTI-ohjelmistolla voitaisiin suorittaa MELA-ohjelmistoa vastaava hiilinielujen vertailutason laskenta (Lehtonen ym. 2019). Ohjelmisto ei ole yhteensopiva Windows 10-käyttöjärjestelmän kanssa

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 44. MOTTI.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Puuston kasvu	Työkalu	Helppo	On	On, rekisteröityminen 30 käyttöpäivän jälkeen.	Ilmainen	?	2015	Kyllä

4.4.7 SISU (Tilastokeskus)

SISU-mikrosimulointimalli on laskentaväline vero- ja sosiaaliturvalainsäädännön valmistelussa, näiden järjestelmien budjetti- ja tulonjakovaikutusten arvioinnissa sekä tavoiteltujen vaikutusten toteutumisen seurannassa. Mallia käytetään mm. julkisen sektorin verotulojen arvioimiseen, kansalaisten ja kotitalouksien taloudellisen aseman tarkasteluun sekä tuloerojen ja kannustinvaikutusten tutkimiseen.

SISUn koodi perustuu JUTTA-malliin. SISU yhdistää TUJA, JUTTA ja SOMA-mallien ominaisuuksia ja helpottaa keskitettyä mallinnusta. SISU-mikrosimulointimallia käytetään pääasiassa etäkäyttötyhteydellä Tilastokeskuksen etäkäyttöjärjestelmässä.

SISU-malli muodostuu 12 osamallista, joista jokainen kuvaa yhtä lainsäädännön osaa. Simulointilaskelmia on mahdollista tehdä joko yksittäisillä osamalleilla tai vaihtoehtoisesti käyttää ns. päämallia, joka yhdistää osamallit kuvaamaan tulonsiirtojärjestelmää kokonaisuutena.

Osamallien ja päämallin lisäksi SISU-mallissa useita lisämoduuleja. Esimerkiksi välillisiä veroja voidaan laskea VEROSimul-ohjelmalla. AVERO-moduulilla puolestaan simuloidaan ajoneuvo- ja polttoaineverotuksen vaikutuksia.

SISU-mallin staattisella simuloinnilla voidaan selvittää esimerkiksi reformien vaikutuksia yksilöiden, kotitalouksien ja eri väestöryhmien tuloihin ja tulonjakoon, marginaaliveroasteisiin ja kannustinloukkujen kohdentumiseen, julkisen talouden brutto- ja nettokustannuksiin, valtion tai kuntien talouteen.

Käyttö vaatii asiantuntijuutta etuus- ja verojärjestelmistä, eikä malli sovellu kuntien itsenäiseen käyttöön. SISU-mallin koodi on ladattavissa avoimena datana, ja sitä voi muokata, käyttää ja jakaa vapaasti. SISU-mallin aineistojen käyttö edellyttää kaikilta käyttäjiltä erillistä aineistojen käyttö lupaa. (Tilastokeskus 2019).

[Linkki verkkosivulle.](#)

Taulukko 45. SISU.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentointi	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaaisuus	Hyödynnettävyys
Verotulojen arviointi tuloluokittain,	Malli	Vaativa asiantuntijakäyttö	On	On	Ilmainen, mutta TK:n etäkäytöyhteyden käyttö maksaa.	SAS	2018	Kyllä

4.4.8 DREMFIA (LUKE)

Osittaistasapainomalli, joka on kehitetty erityisesti alueiden tuotantokehityksen ja maatalouden rakennkehityksen simulointiin. DREMFIA:n tuotantopanorakenteen vuoksi sitä voidaan soveltaa myös ilmastomuutos-, lannankäsittely- ja vesiensuojelukysymyksissä (Niemi ym. 2014).

DREMFIA-mallissa Suomi on jaettu 18 sektoriin, joilla politiikkamuutosten vaikutuksia voi tarkastella. Malli ottaa huomioon maataloustuotteiden hinnat ja muutokset esimerkiksi lihan kulutuksessa. Tuloksina saadaan muun muassa viljellyn maaperän pinta-ala, mineraalilannoitteiden käyttö ja tärkeimpien eläinlajien määrät.

DREMFIA-mallissa on oletuksena se, että kuluttaja maksimoi hyödyn ja viljelijä maksimoi voiton. Kulutuksen ja ulkomaankaupan osalta turvaudutaan ns. Armington-oletukseen, jonka mukaan kotimainen tuote ja vastaava ulkomainen tuote ovat epätäydellisiä substituutteja, joilla voi olla eri hinnat. (Lehtonen ym. 2017)

DREMFIA-mallia on sovellettu arvioitaessa markkinamuutosten, ympäristötukijärjestelmän ja muuttuvan ilmaston vaikutuksia maatalouden tuotantoon, pellonkäyttöön sekä tuloihin (Lehtonen & Rankinen 2015). Mallin tuloksista saadaan syötteitä kasvihuonekaasulaskentaan (Aakkula ym. 2019). Tattari ym. (2017) mukaan DREMFIA-malli soveltuu hyvin ohjauskeinojen tai maatalouspolitiikan ympäristövaikutusten arviointiin.

DREMFIA sisältää myös yksinkertaisen khk-päästölaskurin ja sillä voidaan laskea khk-päästöjen muutokset kun tuotanto tai maankäyttö alueiden välillä muuttuu (Lehtonen 2013).

[Linkki väitöskirjaan.](#)

Taulukko 46. DREMFA.

Tuotokset	Tyyppi	Vaativuus	Dokumentaatio	Avoimuus	Hinta	Tekninen toteutus	Ajan-tasaisuus	Hyödynnettävyys
Arvio alueellisista muutoksista esim. ravinteiden osalta	Malli	Vaativa asiantuntijakäyttö	On	Ei	?	?	Jatkuva päivitys	Kyllä

4.4.9 Vähäpäästöisten ajoneuvojen ja uusiutuvan energian julkiset hankinnat

Kaupunkien vähäpäästöisten ajoneuvojen ja uusiutuvan energian taloudellista kustannus-hyötyanalyysiä on saatettu tehdä tiettyjen tarjouskilpailujen yhteydessä. Liikenteen ja uusiutuvan energian esimerkillisiä hankintoja on kerätty seuraaville sivustoille. Hankinnan yhteydessä tehtyjä laskentoja ei pääsääntöisesti löytynyt näiden internet-sivujen kautta, mutta niitä voisi kysyä suoraan kunkin hankinnan valmistelijalta.

KEINO-osaamiskeskus

[Linkki verkkosivulle.](#)

Kiertotalouskiihdyttämö

[Linkki verkkosivulle.](#)

Hankintamappi

Hankinnan asiakirjoja löytyy mm. seuraavista:

- Rovaniemen energiansäätötoimet ESCO-hankkeena
- Kuntien yhteishankinta: Aurinkovoimaloita leasing-mallilla julkisiin rakennuksiin
- Vaasan biokaasubussit
- Liikennepalvelujen innovatiivinen hankinta (Siuntio)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Energialoikka

Energialoikassa on tällä hetkellä 240 rakennetun ympäristön energiantuotantoon tai -käyttöön liittyvää esimerkkiä. Niille on laskettu sekä kustannushyötyjä että kasvihuonepäästöjen vähentyminen.

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.4.10 Muut

DEMCROP (Luke)

Optimaalisen viljelykierron, pellonkäytön ja kalkituksen laskenta. Sopii hankesuunnittelutason toimenpiteiden kohdistamiseen ja optimointiin tila-/lohkotasolla (Tattari ym. 2017). Pelto-optimi-hankkeessa DEMCROP-mallia käytettiin kasvien tuottajahintojen sekä typpiverotuksen vaikutuksia pellon ja panosten käyttöön, satohintoihin sekä katetuottoon. Lisäksi mallilla tarkasteltiin salaojituksen kannattavuutta, ja peltolohkojen saneerausta. (Peltonen-Sainio ym. 2018)

ARVO (LUKE)

ARVO-ohjelmisto tuottaa ennusteen hakkuuseen tulevan leimikon puuston puutavaralajittaisesta kertymästä, läpimitta-pituusluokittaisesta jakaumasta sekä hakkuukertymän arvosta. Ennusteet perustuvat runkopankkiin kerättyihin puiden puukohtaisiin mittaustietoihin (stm-tiedot) ja LUKEn maastomittauksen pohjalta rakennetun laatupankin vikaisuustietoihin. Työkalu on ilmainen ja toimii Java-ympäristössä. (LUKE 2014)

[Linkki verkkosivulle.](#)

VALTTI (Motiva)

VALTTI-elinkaarikustannuslaskuri on tarkoitettu valaistusolosuhteiden puolesta laadullisesti samanlaisten valaistushankintojen elinkaarikustannusten vertailuun, kun käytettävissä on tarjouksia tai alustavia hintatietoja valaistavan kohteen valaistusratkaisusta. Hankinta voi kohdistua uusiin valaistushankintoihin ja/tai olemassa olevien valaistuksien peruskorjauksiin.

VALTTI-laskuri on hankintadirektiivin mukainen elinkaarikustannusten laskentatyökalu, jota voidaan käyttää tarjousten tai ratkaisuehdotusten vertailuun. Laskennassa huomioidaan mm. investointi, energia-, huolto- ja kunnossapitokustannukset, mutta ei muun muassa parantunutta työn tuottavuutta, työviiltyvyyttä, terveyttä, yrityksen imagohyötyjä tai kiinteistön arvon nousua tai valosaasteen aiheuttamia terveys- ja ympäristöhaittoja. Tarjottujen valaisimien laatuun ei oteta kantaa. Työkalu on ilmainen, avoin ja excel-pohjainen. Ulko- ja sisävalaistukselle on omat laskurit, joista kummastakin on lisäksi tarjolla on pikalaskuriversiot. (Motiva 2017a)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus (Motiva)

Yksinkertaisen Excel-laskentatyökalun tarkoituksena on helpottaa energiakatselmoijia ja muita energiansäästöinvestointeja tarkastelevia tahoja laskemaan yksittäisen energiansäästötoimenpiteen suoran takaisinmaksuajan lisäksi toimenpiteen nettonykyarvo ja sisäinen korkokanta. Tällä tavoin päätöksenteon tueksi saadaan kokonaisvaltaisempi kuva investoinnin kannattavuudesta. Laskuri ottaa huomioon myös energian hinnan ja rahan arvon kehityksen sekä takaisinmaksuajan jälkeen tulevat tuotot. (Motiva 2019)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Lämmitystapojen vertailulaskuri (Motiva)

Pientalon lämmitystapojen vertailulaskuri tarjoaa tietoa eri lämmitystavoista ja niiden kustannuksista. Laskurin ensisijainen kohderyhmä ovat uusien pientalojen rakentajat ja vanhojen talojen remontoijat, mutta sitä voidaan käyttää muunkin tyyppisille rakennuksille. Laskuri sisältää yleisimmät pää- ja tukilämmitystavat ja kuvaukset niiden ominaisuuksista.

Laskuri ottaa huomioon sekä päälämmitystavan yksinään että valittujen tukilämmitysten kanssa. Eri lämmitystapojen yhdistelmistä on valittu mukaan vain taloudellisesti kannattavimmat. Oletusarvot lämpöpumppujen hyötysuhteista ja toiminnasta perustuvat ympäristöministeriön laskentaohjeeseen. Energiainhintojen nousuvauhdin oletusarvoina laskurissa käytetään tilastoihin perustuvia arvoja eri energiamuotojen hintojen kehityksestä viimeisen 10 vuoden ajalta. Työkalu on selainpohjainen. (Motiva 2017b)

[Linkki verkkosivulle.](#)

FINAGE ja REFINAGE (VATT)

FINAGE (ent. VATTAGE) on kansantaloutta kuvaava yleisen tasapainon malli. Lähtökohtana ovat kotitalouksien, yritysten ja julkisten sektoreiden päätökset. Kotitalouksien keskeisiä päätöksiä ovat kulutus ja säästämisspätökset sekä työn tarjonta. Yritykset päättävät tuotantopanosten – työn, pääoman ja väli- tuotteiden – käytöstä sekä investoinneista. Julkisten sektoreiden toimintaa kuvaavat ennen kaikkea

erilaiset verotuksen rakenteet sekä tulonsiirrot kotitalouksille ja toisille julkisille toimijoille. Kysynnän ja tarjonnan tasapaino toteutuu hintamekanismien kautta.

Tasapainomallilla tehtävässä vaikutusarvioinnissa mallin haluttuun kohtaan tai kohtiin tehdään poliittikkatoimenpidettä, päätöksenteon muutosta yms. kuvaavat muutokset ja lasketaan malliyhtälöiden avulla uudet skenaariot. (Koljonen ym. 2019)

REFINAGE on avoin ja ilmainen yleisen tasapainon malli, joka on julkaistu vuonna 2019. REFINAGE on tarkoitettu alueellisiin tarkasteluihin ja soveltuu maakuntatason tarkasteluun. Aineistot ja mallikoodi ovat avoimia. (Honkatukia ym. 2019). Malli ei sovellu suoraan kuntatason tarkasteluun.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Sonets (VTT)

SONETS (Stochastic Optimization of Non-ETS emissions) malli kuvaa Suomen ei-päästökauppasektorin (pois lukien LULUCF) päästöjä ja päästövähennyskeinoja. SONETS-malli on stokastinen, eli siihen on kuvattu eri muuttujien epävarmuus. (Lindroos ym. 2011)

SONETS-mallilla pyritään löytämään vähennyskeinoista koostuvia portfolioita, joiden kokonaiskustannusten nykyarvot ovat mahdollisimman pienet. Malli valitsee kullekin vähennystoimelle optimaalisen aloitusajankohdan. Mallissa tarkastellaan toimien suoria kustannuksia, ei kansantaloudellisia kerrannaisvaikutuksia. Vastaavasti mallin päästövähennysratkaisut ovat luonteeltaan teknisiä, eikä esimerkiksi muutoksia kulutustottumuksissa tai yhteiskuntarakenteessa.

Mallissa epävarmuutta liittyy perusrapäästöihin, päästövähennyskeinoilla saavutettaviin päästöväheneisiin ja niiden kustannuksiin. Epävarmuudet aiheutuvat esimerkiksi energian markkinahintojen sekä päästöjen muodostumiseen vaikuttavien muuttujien, kuten liikennesuoritteiden ja päästökertomien, ennusteiden epävarmuudesta. (Lindroos ym. 2013).

Mallianalyysit ovat tilattavissa VTT:ltä tilaustyönä.

[Linkki verkkosivulle.](#)

SF-GTM (LUKE)

SF-GTM-malli on Suomen metsäsektoria kuvaava talouden osittaistasapainomalli, jossa yhdistyvät metsäteollisuuden lopputuotteiden kysyntä ja tuotanto, puun tarjonta sekä muuttuva metsävaranto. Malli toimii myös paikallisella tasolla. Malli sisältää muita metsämalleja yksityiskohtaisemman kuvauksen Suomen metsäsektorista. Metsäteollisuuden tuotanto eri metsäkeskuksissa on eritelty tuotteittain tehdas- tai tuotantolinjatasolla, ja metsätaloudesta tuleva puun tarjonta puutavaralajeittain.

Mallin alueiden (14 metsäkeskusta ja alue ”muu maailma”) välillä käydään kauppaa mm. raaka-puusta, hakkeesta ja sellusta eri metsäkeskusten välillä, milloin kauppa kannattaa taloudellisesti eli kun alueiden välinen hintaero kattaa vähintään kuljetuskustannukset. Materiaalitasapainossa tuotannon ja tuonnin summa on kullakin alueella yhtä suuri kuin kulutuksen ja viennin summa. SF-GTM on ohjelmoitu GAMSissa. (Kallio 2009)

SOME (Sosiaali- ja terveysministeriö)

Sosiaalimenojen ja niiden rahoituksen analyysimalli. Kansallinen taso.

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.5 Sosiaaliset vaikutukset

Sosiaaliseen hyvinvointiin vaikuttaa erilaiset yksilölliset, sosiaaliset, rakenteelliset, ympäristölliset ja kulttuuriset tekijät, kuten terveyttä ja hyvinvointia tukevat voimavarat, asenteet, arjen sujuminen,

terveyskäyttäytyminen, kyky omaksua ja tulkita terveystietoa sekä mahdollisuudet saada tai käyttää palveluita. Vaikuttamalla näihin tekijöihin, edistämällä hyvinvointia ja vähentämällä väestöryhmien välisiä eroja voidaan vaikuttaa köyhyyteen, sosiaaliseen syrjäytymiseen, työttömyyteen ja kansansairauksiin. (Oikeusministeriö 2007)

Sosiaalinen hyväksyttävyyden on edellytys ilmastonmuutoksen menestyksekkäälle torjumiselle. Toimenpiteillä on aina joko suoraan tai välillisesti myös sosiaalinen ulottuvuus. Muun muassa talouteen vaikuttavilla, tai suoraan esimerkiksi elinkustannuksiin kohdistuvilla toimilla on erilaiset vaikutukset eri väestöryhmissä. Koettu elämänlaatu ja oikeudenmukaisuus voivat vaihdella sosioekonomisesta asemasta riippuen.

Toimenpiteiden sosiaalisten vaikutusten arviointiin ei ole vakiintuneessa käytössä malleja tai työkaluja. Suorien ja välillisten sosiaalisten vaikutusten arviointi on kuitenkin tärkeää pitää mukana arviointiprosessissa, vaikka määrällisesti niitä ei voidakaan helposti mitata.

Varsinaisten kvantitatiivisten mallien puuttuessa arvioinnissa voi hyödyntää useiden eri tahojen toimesta tehtyjä sosiaalisten vaikutusten eri osa-alueita koskevia ohjeita, ja esimerkiksi THL:n palveluita ja indikaattoreita, kuten Hyvinvointikompassia sekä TEA-viisaria (luku 4.2.7.) on mahdollista käyttää hyväksi.

Eniten opastusta löytyy maankäyttö- ja rakennuslain edellyttämiin kaavoituksen vaikutusarvioihin. Tasa-arvolaki puolestaan velvoittaa arvioimaan ennalta päätösten sukupuolivaikutuksia. Yhdenvertaisuuslaissa säädetään muun muassa eri toimijoiden velvollisuudesta arvioida ja edistää yhdenvertaisuutta.

Käytännön keinona kaupungeissa käytetään hyvinvointikertomuksen laadintaa. Koulutuksella ja viestinnällä (ks. luku 3.9) on myös merkittävä vaikutus asenteisiin sekä osallisuuden kokemukseen ja sitä kautta hyvinvointiin. Tietoa voi lisätä erilaisilla laskureilla, kuten Ilmastodieetillä (luku 4.1.2.4) tai Itämeri-laskurilla (luku 4.3.7).

Kansainvälisesti on havaittu, että sosiaalisten vaikutusten arviointi on liian usein keskittynyt lähinnä tilastollisiin tarkasteluihin ja muutoin mitattaviin tekijöihin. Vaikutuksia ei pitäisi tarkastella ainoastaan keskimääräisinä tai tilastollisina kokonaissuureina, vaan niitä kannattaa eritellä mielekkäiksi katsottujen näkökulmien kuten eri väestö- tai käyttäjäryhmien kautta. (Päivänen ym. 2005)

4.5.1 Ohjeet ja oppaat

Sosiaalisten vaikutusten arviointi kaavoituksessa (Ympäristöministeriö)

Avauksia sisältöön ja menetelmiin -raportissa (Päivänen ym. 2005) käsitellään maankäyttö- ja rakennuslain mukaista maankäytön suunnittelua ja siihen liittyvää vaikutusten arviointia. Raportissa painotetaan osapuolilla jo olevan tiedon löytämistä ja järjestämistä systemaattisempaan muotoon, jolloin voidaan puhua jonkin alueen ihmisten hyvinvoinnista ja yleensä elinympäristössä tapahtuvien muutosten seurannasta.

[Linkki verkkosivulle.](#)

Säädösvaikutusten arviointi ihmisiin kohdistuvien vaikutusten näkökulmasta (Sosiaali- ja terveysministeriö)

Opas kokoaa eri näkökulmia siitä, kuinka voidaan tarkastella säädösehdotusten vaikutuksia ihmisiin. Ihmisiin kohdistuvat vaikutukset eivät välttämättä tule esiin ja tunnistetuiksi, jos säädös koskee esimerkiksi koulutusta, asumista, työtä, liikkumista tai verotusta. Muutokset voivat kuitenkin aiheuttaa huomattaviakin välillisiä vaikutuksia, jolloin ilmiölähtöinen lähestymistapa on tarpeen vaikutusten arvioinnissa. Opas jakaantuu kahteen osaan, joista ensimmäinen esittelee kaikille näkökulmille yhteisiä yleisiä

menettelytapoja. Toisessa osassa käsitellään erilaisia ihmisiin kohdistuvien vaikutusten näkökulmia ja näiden lähteitä, asiantuntijatahoja sekä esimerkkejä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2016)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Vaikutusten ennakoarviointi kunnallisella päätöksenteossa (Suomen kuntaliitto)

Suosituksen ja siihen liittyvän oppaan tarkoitus on vahvistaa kuntien päätöksenteon ennakoivaa ja kokonaisvaltaista huomioimista kunnallisessa päätöksenteossa. Opas on käytännönläheinen ja siinä esitetään vaikutustyyppien tunnistamista ja päätösten valmistelua tukeva taulukko ja malli ennakoarvioinnista. (Sundquist & Oulasvirta 2011)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Säädösehdotusten vaikutusten arviointi (Oikeusministeriö)

Ihmisen arkiympäristöä, kotia, päiväkotia, koulua, työpaikkoja, asuinaluetta ja liikennettä koskevat päätökset voivat olla sosiaalista hyvinvointia vahvistavia tai niitä heikentäviä. Päätösten sosiaalisten vaikutusten arvioinnin tiedonlähteinä voidaan käyttää valmiita tietoaaineistoja, kuten tilastoja, tutkimuksia, selvityksiä ja seurantatietoja. Samoin arvioinnissa tulee hyödyntää sääntelyn kohderyhmien ja sidosryhmien sekä asiantuntijoiden kuulemista. Esimerkiksi lausuntopyyntöissä voidaan kiinnittää erityistä huomiota vaikutusten arviointiin ja pyytää lausunnonantajilta näkemyksiä ehdotuksen vaikutuksista. (Oikeusministeriö 2007)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Yhdenvertaisuuden arvioinnin työkalu (Oikeusministeriö)

Oikeusministeriön verkkopalvelussa käydään kattavasti läpi yhdenvertaisuusarvioinnin eri näkökohdat. Yhdenvertaisuuslain mukaan ketään ei saa syrjiä iän, alkuperän, kansalaisuuden, kielen, uskonnon, vammaisuuden, mielipiteen, poliittisen toiminnan, ammattiyhdistystoiminnan, perhesuhteiden, terveydentilan, vammaisuuden, seksuaalisen suuntautumisen tai muun henkilöön liittyvän syyn perusteella, mikä pitää ottaa huomioon esimerkiksi palvelusuunnittelussa.

Arviointimenetelmiä ovat kyselyt, kuulemiset, arviointityöpajat, toiminto- ja asiakirja-analyysit, esteettömyyskartoitukset ja muun muassa tasa-arvo-, työsuojelutyö- ja laillisuusvalvonta-aineistojen hyödyntäminen sekä tutkimuskatsaukset. (Oikeusministeriö 2019)

[Linkki verkkosivulle.](#)

4.6. Systeemianalyttinen lähestymistapa

Ilmastotoimenpiteiden arviointiin voidaan käyttää systeemianalyysin piiriin kuuluvaa monitavoitteista päätösanalyysia (MCDA – Multi-Criteria Decision Analysis). MCDA-tekniikkaa voidaan soveltaa erityyppisissä suunnittelu- ja päätöksentekotilanteissa. Sitä voidaan käyttää muun muassa erilaisia arvostuksia, erimittaisia vaikutuksia ja epävarmuuksia sisältävissä laajoissa ja monimutkaisissa suunnittelutilanteissa ja vaikutusten arviointitilanteissa. Päätöksentekoon liittyy aina arvoperusteisia valintoja ja subjektiivisia mieltymyksiä, ja ”paras ratkaisu” vaihtelee päätöksentekijän mukaan. Päätösanalyysillä ei yksiselitteisesti voidakaan osoittaa jotakin vaihtoehtoa muita paremmaksi. Päätösanalyysi auttaa kuitenkin yhteisen näkemyksen syntyä jäsentelemällä päätöstilanteen kaikille päätöksentekijöille samantapaiseksi. (Tenhunen & Lohi 2001, Marttunen ym. 2005)

Eräs päätösanalyysin perussovellus on monitavoitteinen hyötymalli, jota voitaisiin soveltaa kaupunkien ilmasto-ohjelmissa esitettyjen eri toimenpiteiden priorisointiin. Monitavoitteinen päätösanalyysiprosessi voidaan jakaa tässä yhteydessä seuraaviin vaiheisiin (Tenhunen & Lohi 2001):

1. Selvitetään tavoitteet joihin pyritään.
2. Määritellään toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi.
3. Määritetään vaikutusluokat joihin toimenpiteet vaikuttavat.
4. Selvitetään toimenpiteiden arvot vaikutusluokkien suhteen.
5. Selvitetään päättäjien antamat painot vaikutusluokille.
6. Lasketaan toimenpiteiden saamat pisteet arvojen ja painojen avulla.
7. Tehdään herkkyystarkastelu.

Ilmasto-ohjelmissa esitetään toimenpiteitä, joiden tavoitteena on ensisijaisesti vähentää syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Toimenpiteillä on myös muita vaikutuksia, jotka vaikuttavat kyseisen toimenpiteen toteuttamista koskevaan päätökseen. Taulukoissa 47 on esitetty hyvin yksinkertainen esimerkki, miten toimenpiteitä voidaan vertailla SMART (Simple multiattribute rating technique) -menetelmällä, kun vaikutusluokkina on käytetty tässä raportissa esitettyä luokitusta.

Toimenpiteiden vaikutuksille eri vaikutusluokissa määritetään arvot. Esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöt tai taloudelliset vaikutukset voidaan laskea. Apuna voidaan käyttää malleja, joita tässä raportissa on esitelty, tai arvot voivat perustua asiantuntija-arvioon. Vaikutusluokkien arvot taulukon 47 esimerkissä on normeerattu välille 0–10 siten, että 0 on huonoin ja 10 on paras vaikutus kyseisessä vaikutusluokassa.

Vaikutusluokille tarvitaan vielä painot, jotta saadaan yksiselitteinen tulos vertailun helpottamiseksi. Painojen antamiseen osallistuisivat tässä esimerkissä ilmasto-ohjelman laatimiseen osallistuneet asiantuntijat, virkamiehet ja päätöksentekijät. Painottaminen voidaan tehdä esimerkiksi SMART-tekniikkaan perustuvalla menettelyllä. Siinä asetetaan vaikutusluokat tärkeysjärjestykseen ja annetaan vähiten tärkeälle vaikutusluokalle paino 10. Vähiten tärkeä vaikutusluokka on siten standardi, johon muita vaikutusluokkia verrataan. Tämän jälkeen arvioidaan, kuinka monta kertaa tärkeämpi seuraavaksi vähiten tärkeä vaikutusluokka on suhteessa ”standardivaikutusluokkaan”. Esimerkiksi jos katsotaan, että seuraavaksi vähiten tärkeä vaikutusluokka on standardiin nähden viisi kertaa tärkeämpi, kyseisen vaikutusluokan painoksi tulee 50. Seuraavaksi arvioidaan muutkin vaikutusluokat suhteessa standardivaikutusluokkaan. Jos jollakin vaikutusluokalla ei ole ollenkaan merkitystä, sille annetaan arvo nolla. Lopuksi painot yleensä skaalataan välille 0–1.

Taulukko 47. Hypoteettinen esimerkki toimenpiteiden vertailusta monitavoitteisella hyötymallilla.

	Khk-päästöt	Terveys-vaikutukset	Luonto-vaikutukset	Taloudelliset vaikutukset	Sosiaaliset vaikutukset	Yht.
Painokerroin	0,5	0,2	0,05	0,2	0,05	1,00
Vertailtavat vaihtoehdot	khk-päästöt	Terveys-vaikutukset	Luonto-vaikutukset	Taloudelliset vaikutukset	Sosiaaliset vaikutukset	Yht.
Parannetaan pyöräilyverkkoa	8	8	5	7	7	7,60
Otetaan käyttöön tietullit	9	5	3	9	5	7,70

4.7 Muita vaikutustenarviointia tukevia työkaluja

Viherkerroin (Helsingin kaupunki)

Viherkerroin on asemakaavoituksessa käytettävä menetelmä viherrakenteen lisäämiseksi tonteilla. Viherkerroin kertoo, kuinka paljon kasvillisuutta ja vettä viivyttäviä ratkaisuja tulee olla suhteessa tontin pinta-alaan. Korttelissa on monta keinoa saavuttaa kaavassa annettu viherkertoimen tavoitetaso.

Viherkerrointa kasvattavat säilytettävän ja istutettavan kasvillisuuden lisäksi läpäisevät pintamateriaalit sekä erilaiset sade- ja sulamisvesien käsittelyn ratkaisut kuten viherkatot, sadepuutarhat tai viivytyksaltaat.

Työkalu on suunnattu kaavoittajien lisäksi maisema-arkkitehtien ja pihasuunnittelijoiden käyttöön. Mikäli asemakaavassa edellytetään viherkertoimen käyttöä, tulee rakennuslupahakemukseen liittää viherkerrointyökalun tulostus. Viherkerroinmenetelmä on laadittu vuonna 2014 osana EU-rahoitteisen Ilmastonkestävä kaupunki (ILKKA) -hanketta. Työkalua on kehitetty vuonna 2017 EU-rahoitteisessa iWater-hankkeessa. Sitä päivitettiin aiempaa käyttäjäystävällisemmäksi, ja hulevesien hallinnalle erilaisine ratkaisuihin annettiin päivityksessä aiempaa suurempi painoarvo.

Viherkerrointa voidaan kehittää omien tarpeiden mukaiseksi, ja Helsingin kaupunki esimerkiksi kehittänyt hulevesipainotteisen version.

Viherkerroin on Excel-pohjainen työkalu. Tarvittavia lähtötietoja ovat: maankäyttö, pihatyyppi, viemäriverkosto, ympäröivät alueet, maaperä/pohjavesi ja hulevesiratkaisut. (Stadin ilmasto 2014)

[Linkki verkkosivulle.](#)

SROI-menetelmä

Järjestöjä varten kehitetty SROI-menetelmä (Social Return on Investment) on tarkoitettu organisaatioiden ja projektien taloudellisen, yhteiskunnallisen ja ympäristöön liittyvän vaikuttavuuden rahamääräiseen arviointiin. Menetelmä perustuu arviointitutkimukselle, sosiaaliselle tilinpidolle ja kustannus-hyötylaskennalle. Sellaisten vaikutusten, joiden rahamääräistäminen on vaikeaa, annetaan raha-arvo rinnastamalla se johonkin sisällöllisesti lähellä olevaan toimintaan tai tulokseen, jolla on olemassa markkina-arvo. (Klemelä 2016)

[Linkki verkkosivulle.](#)

ARVI

ARVI on IMPERIA-hankkeessa (Marttunen ym. 2015) kehitetty ilmainen, Excel-pohjainen työkalu vaikutusten merkittävyyden arviointiin, vaihtoehtojen vertailuun ja arviointitulosten visualisointiin. Työkalua voidaan käyttää esimerkiksi YVA-menettelyn eri vaiheissa. (JYU 2016)

[Linkki verkkosivulle.](#)

Opasnet (THL)

Opasnet on Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksella kehitetty käytännönläheinen wiki-pohjainen sivusto, jonka tarkoituksena on antaa tukea ympäristöterveyteen liittyvään päätöksentekoon. Sivusto soveltuu tiedonhankinnan tai -jakamisen apuvälineeksi arvioitaessa ympäristön vaikutuksia ihmisten terveyteen. Sivustolla kerätään, yhdistetään ja jaetaan tutkimustietoa ja tietoa ihmisten arvoista. (THL 2019d)

[Linkki verkkosivulle.](#)

KASSU2 (SYKE)

KASSU2 on vielä kehitysvaiheessa oleva, kuntien käyttöön tarkoitettu väestöennustemalli. Mallia voidaan hyödyntää esimerkiksi maankäytön ja asumisen yhteensovittamisen tukena väestörakenteen ja asuminen muuttuessa. Malli ennustaa väestömäärän ja ikärakenteen 25 vuoden päähän. Työkalu sisältää kolme osaa: asumisen nykytila ja mennyt kehitys, väestö- ja asuntokantaskenaariot sekä asumisen toimenpide-ehdotukset. Malli on R-pohjainen. (SYKE 2018a)

[Linkki verkkosivulle.](#)

TEEB for Finland

Suosituksia luontopääoman kansallisen tilinpidon kehittämiseksi (Jäppinen & Heliölä 2015).

[Linkki verkkosivulle.](#)

EcoProp (VTT)

Rakennushankkeiden vaatimusten systemaattisen hallinnan työkalu asiakkaiden vaatimusten hallinnoimiseksi. Ohjelman ydintoiminnot ovat vaatimusten selvittäminen, dokumentointi ja hallinta.

[Linkki verkkosivulle.](#)

5 Arviointityökalujen jatkokehittäminen

Janne Pesu ja Ari Nissinen

Yhteenvedona edellisistä luvuista voidaan todeta, että mallit ja työkalut eivät ole helposti yhdistettävissä kokonaismalliksi ilmasto-ohjelmien erilaisten vaikutusten arvioimiseen. Iso osa malleista on yksittäisissä tutkimus- ja kehittämisprojekteissa syntyneitä, usein Excel-ohjelmalla toteutettuja, ja niiden tietopohja tarvitsisi useissa tapauksissa päivitystä. Toisaalta malleja ja työkaluja löytyi suuri määrä, ja niistä olisi hyvä jatkaa kokonaisvaltaisen vaikutusarvioinnin kehittämistä.

Toimenpiteiden suunnitteluun ja skenaariotarkasteluihin on kehitetty paljon malleja ja tutkijakäyttöön tarkoitettuja työkaluja. Näiden käyttö vaatii usein erityisasiantuntemusta, vaikeasti löytyviä lähtötietoja sekä aikaa. Tällaisten mallien integroiminen kokonaismalliksi ei onnistu vähällä työllä, mutta monessa tapauksessa mallin avulla voidaan muodostaa yksinkertaistettuja kertoimia tai kaavoja kyseisen asian vaikutusarviointiin. Helppokäyttöisimmät työkalut perustuvatkin yleensä tällaisten päästökerroimien käyttöön. Suhteellisen helppokäyttöisissäkin malleissa on lähtötietojen valinta usein vaikeaa ja väärä valinta johtaa helposti suuriin eroihin tuloksissa. Tässä raportissa on kuitenkin keskitytty malleihin ja työkaluihin, eikä lähtötietojen saatavuuteen tai valintaan.

Joka tapauksessa kokonaisvaltaisempi lähestyminen ilmasto-ohjelmien vaikutusten arviointiin on tarpeen. Pelkkien kasvihuonekaasujen huomiointi saattaa johtaa osaoptimointiin ja vähintäänkin tulisi pyrkiä ymmärtämään toimenpiteiden terveys-, luonto- ja sosiaaliset vaikutukset kuin myös epäsuorat taloudelliset vaikutukset. Kokonaisvaltaisen työkalun kehitystyö on kuitenkin väistämättä vaiheittaista mallien ja työkalujen erilaisista kypsyyksistä johtuen.

5.1. Kokonaisvaltaisen vaikutusarvioinnin työkalusta

Kokonaisvaltaisen vaikutusarvioinnin edistämiseen hahmoteltiin kolmea eritasoista työkalua. Ensimmäinen olisi mallikirjasto tai portaali, jonka kautta kullekin toimenpidesektorille löytyy helposti mallit ja työkalut erilaisten vaikutusten arviointiin (kuva 1). Tämä työkalu olisi toteutettavissa pääosin tämän raportin perusteella, heti ja suhteellisen pienillä kustannuksilla.

Yksinkertaisessa verkkotyökalussa olisi tämän dokumentin tiedot jossain määrin edelleen jalostettuna ja siitä olisi helppo muutamalla klikkauksella löytää esimerkiksi liikenne-alueen terveysvaikutuksiin liittyviä malleja ja niiden kuvauksia. Kaupunkien asiantuntijat löytäisivät avoimesta palvelusta helposti eri aihepiirien arviointiin sopivia työkaluja ja tarkistuslistoja, joilla he voisivat kokonaisvaltaisemmin hahmotella toimenpiteiden vaikutuksia. Vaikka he eivät tekisi arviointeja itse, niin tiedot malleista ja työkaluista voivat auttaa valmistelemaan yhteistyötä vaikutusarviointia tekevien konsulttien kanssa ja mm. arvioimaan konsulttien tarjouksia.

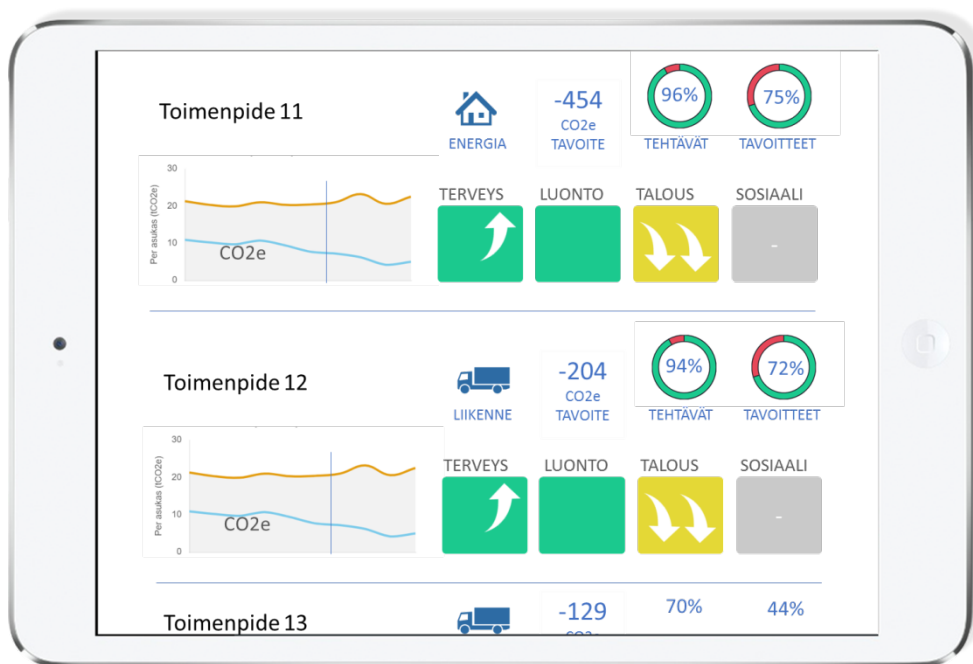
Tällä mallilla sidottaisiin yksinkertaisimmin myös muut kuin kasvihuonekaasut toimenpiteiden vaikutusarviointiin vähintäänkin tarkistuslistan tasolla. Lyhytkin tarkistuslista asioista, joita pitäisi huomioida kunkin vaikutusalueen suhteen, voisi mahdollistaa asiantuntija-arvion eri vaikutusalueiden tärkeydestä – ovatko esimerkiksi toimenpiteen terveysvaikutukset todennäköisesti negatiiviset vai positiiviset ja pienet vai suuret. Näiden arvioiden perusteella voidaan sitten priorisoida varsinaista mallinnusta ja seurantaa.



Kuva 1. Mallikirjaston käyttöliittymäesimerkki

Toinen työkalu olisi hybridimalli (kuva 2), jossa hankkeita tai aihealueita kuvataan mittaristossa (dashboard), mutta jossa vain osa tiedosta olisi laskennallista ja mahdollisesti automatisoitua. Mittaristossa voidaan havainnollistaa vaikutuksia laajasti, mutta osa tuloksista perustuisi asiantuntija-arvioihin, eikä välttämättä olisi numeerista vaan suuruusluokkaa havainnollistavaa tai riittävää tasoa indikoivaa. Vaikka alkuun vain pieni osa malleista linkittyisi hybridimallin dashboardille, lisäarvoa muodostuisi siitä, että vaikutuksia arvioitaessa olisi aina jollain tasolla arvioitava muutkin vaikutukset kuin kasvihuonekaasupäästöt. Näiden vaikutusten arvioinnissa voitaisiin käyttää esimerkiksi mallikirjaston tapaista työkalua.

Hybridimalli olisi verkkopalvelu, johon osa malleista voisi päivittää tietoa automaattisesti ja jossa osa tiedoista syötettäisiin manuaalisesti asiantuntija-arvioista tai erillisten mallien tuloksista. Tiedon manuaalinen syöttäminen on kustannustehokasta harvemmin päivittyvän tiedon osalta ja nykyisellään harvoja vaikutuksia pystytään kuitenkin seuraamaan jatkuvan datan pohjalta. Tämä malli mahdollistaa nopean liikkeen pääsyn ja vaiheittaisen kehittämisen. Myös dynaaminen priorisointi on mahdollinen, eli kun kaikki mallien liittäminen perustuu rajapintoihin, voidaan mukaan otettavien mallien toteutusjärjestystä tarpeen mukaan vaihtaa ketterästi.



Kuva 2. Hybridimallin käyttöliittymäesimerkki

Kolmas kuva (kuva 3) esittää työkalua, jota ei vielä pysty toteuttamaan ilmasto-ohjelmien vaikutusarvioinnille. Se on kuitenkin hyvä esittää, koska sitä voi pitää pitkän aikavälin tavoitteena. Tämä automaattisesti päivittyvä visuaalinen ja numeerinen mittaristo näyttäisi reaaliaikaista tai mahdollisimman tuoretta informaatiota vaikutuksista ja tavoitteiden toteutumisesta sekä linkittyisi suoraan seurattaviin lähtötietoihin. Teknisesti järjestelmä on täysin mahdollinen, mutta yksittäisiä alueita lukuun ottamatta ollaan vielä kaukana käytännön toteutuskelpoisuudesta. Suurimpana ongelmana on lähtötietojen systemaattinen saatavuus, menetelmien avoimuus ja mallien rajapintojen puute. Monella alueella tehdään myös edelleen perustutkimusta, eikä vaikutuksia vielä täysin tunneta.



Kuva 3. Automaattinen kokonaismalli, käyttöliittymän visiointi.

5.2. Jatkotyön hahmottelua

Miten pääsemme yhdessä hyvin eteenpäin KILTOVAN ensimmäisen hankkeen pohjalta? Hahmottelemme seuraavassa vaihtoehtoja seuraavista askeleista ja niiden vaatimista resursseista.

Yksinkertaisimmillaan kokonaisvaltaisia vaikutuksia voidaan arvioida toimenpidetasolla. Mallikirjasto eli nettiportaali on suhteellisen vähän resursseja vaativa vaihtoehto, koska se voidaan tehdä lähes suoraan raportin pohjalta. Yksinkertaisen toteutuksen työmääräarvio on 1–2 henkilötyökuukautta (htkk). Ylläpito vastaa normaalia nettisivun ylläpitoa. Minimissään tiedon ylläpitoon liittyvien päivitysten aiheuttama työ määrä on arviolta 0,25–0,5 henkilötyökuukautta vuodessa. Tällaisesta mallikirjastosta on myös mahdollista kehittää ohjattu arviointityökalu ns. wizard, joka kysymyksin ohjaa ilmastotoimenpiteen suunnittelijaa arvioimaan toimenpiteen vaikutuksia useammalta kannalta ja suosittelee tarkempaan arviointiin mahdollisimman relevantteja malleja tai työkaluja. Ohjatun työkalun kehittäminen vaatii yksinkertaiseen mallikirjastoon nähden arviolta kolminkertaisen työn.

Hybridimallin kustannus riippuu siitä, miten suuri osa kehikon malleista pyritään linkittämään, päivittämään tai automatisoimaan osaksi käyttöliittymää. Tällä hetkellä oikeastaan yksikään malli ei ole suoraan liitettävissä tällaisen hybridimallin osaksi puuttuvien avointen rajapintojen tai ylläpidon vuoksi. Työmäärän arviointi on vaikeaa ennen kuin tarkempia päätöksiä ensimmäisen version laajuudesta tehdään. Minimissään jollain lailla käyttökelpoinen pilottiversio hybridimallista vaatisi arviolta 12 htkk työtä, koostuen ilmiöiden, mallinnuksen ja käyttöliittymän toteutuksen asiantuntijoiden työstä. Hybridimallin ylläpito vastaisi työmäärältään oletettavasti kaavoituksen ekolaskurin KEKO työmäärää, jonka kustannus olisi suuruusluokkaa 6 000–10 000 euroa vuodessa. Automaattista kokonaismallia emme pidä tässä vaiheessa toteuttamiskelpoisena.

Lupaavimmaksi jatkotyön aiheeksi hahmottuu mallikirjaston toteutus ja hybridimallin demover-sion tuottaminen. Tämä olisi luonnollinen askel kohti kokonaisvaltaisten vaikutusten mallinnusta ja seuraamista. Kaikkien mallien osalta tarvitaan määrätietoista kehitystyötä kohti avointa koodia, hyvää

dokumentointia ja käyttökelpoisia rajapintoja, mutta tämä kehitys vie väistämättä aikaa. Tässä ehdotamme ensimmäisiä askelia, joilla voidaan auttaa sekä toimenpiteitä suunnittelevia että seuraavia tahoja valituilla konkreettisilla osa-alueilla.

Jotta hybridimallista tulisi hyvä työkalu, niin ilmasto-ohjelmien toimenpiteiden analysointia kannattaisi tehdä samaan aikaan kun hybridimallia luodaan, eli tehdä vaikutusten mallinnusta muutamalle esimerkkitoimenpiteelle. Tällä varmistetaan että malli todella toimii niin kuin sen pitää toimia. Hybridimallin vaatimaa työkalujen yhdistämistä ja käytön kehittämistä voisi tehdä myös ilman oikeita analysoitavia tapauksia, puhtaasti teoreettiselta pohjalta. Tällöinkin voidaan päätyä periaatteessa hyvin toimivaan ohjelmistoon, mutta työkalun käyttökelpoisuus oikeiden toimenpiteiden analysointiin voi olla puutteellinen. Suositeltu ratkaisu on vaiheittainen eteneminen konkreettisten ja aitojen toimenpiteiden pohjalta. Tällöin vältetään se vaara, että tehdään pitkään ja hartaasti suurella rahalla jotain, mille ei lopulta ole käyttöä.

Mitä nämä esimerkkitoimenpiteet olisivat? Jo toteutuksessa olevia toimenpiteitä, niin että niistä on saatavilla tietoa arvioinnin pohjaksi. Eri kaupungeista, niin saamme kaupunkien asiantuntemuksen ja näkemyksen monipuolisesti kehittämiseen mukaan. Eri sektoreilta, niin että sektoreiden ominaispiirteitä tulee otettua työkalun kehityksessä huomioon. Tämä valinta kannattaa toteuttaa tutkimusryhmän ja kaupunkien yhteistyönä, jos työkalun kehittämisessä päätetään edetä.

Hybridimallia koskeva ehdotuksemme on hanke, jossa kuuden kaupungin, Espoon, Helsingin, Oulun, Tampereen, Turun, Vantaan ja HSY:n yksittäisille mutta edustaville pilottitoimenpiteille tehdään kokonaisvaltainen vaikutusarviointi, ja samalla kehitetään hybridityökalua erilaisten vaikutusten arviointiin. Ensimmäisen hybridimallin demoversion työmääräarvio on noin 20 htkk, josta noin puolet on esimerkkitoimenpiteiden kanssa työskentelyä, mm. niihin liittyvää tiedonkeruuta.

Mallikirjaston eli nettiportaalin toteutus vaatisi työtä ominaisuuksista riippuen 1–4 htkk, ja yleisimmille toimenpiteille soveltuvan hybridimallin demoversion toteutus noin 20 htkk. Ylläpidon kustannukset tulevat ajankohtaisiksi vasta demotyökalun valmistuttua. Tähän pitää kuitenkin valmistautua, ja varata alustavasti noin 10 000 euroa vuodessa. Koko kehittämishankkeen kustannukset olisivat arviolta noin 250 000 euroa.

5.2.1 Työkalun tekniset vaatimukset

Tällaisen työkalun kehittämisessä on olennaista laajapohjainen ymmärrys ilmastotoimenpiteiden vaikutusalueista, mutta myös käyttöliittymäosaaminen ja kokemus erilaisten työkaluprojektien toteutuksesta, kuten ilmastodieetti.fi, Itämerilaskuri, ja kaavoituksen ekolaskuri KEKO. Teknisissä vaatimuksissa voidaan pohjaksi ottaa KEKOn vaatimusmäärittely (liite 1).

Työkalun suunnittelun ja toteutuksen pohjaksi tarvitaan syvälinen tietämys käyttöliittymän toiminnallisuudesta ja muista perusominaisuuksista. Vaatimusmäärittelyssä on järkevää tehdä useita käyttökuvauksia. Näistä esimerkkinä toimivat KEKOn vaatimusmäärittelyn käyttökuvaukset, joista on esimerkki liitteessä 1.

6 Johtopäätökset - Kaupunkien ilmasto-ohjelmien vaikutusarviointityökalun kehittämisessä kannattaa edetä vaiheittain ja sovellusesimerkkien avulla

Ari Nissinen, Janne Pesu ja Jyri Seppälä

Kaupunkien ilmasto-ohjelmat ovat hyvin laajoja ja kattavat valtavan suuren kirjon toimenpiteitä yli toimialarajojen, esimerkiksi Helsingin ilmasto-ohjelmassa on 147 toimenpidettä. Toimenpiteiden monipuolinen arviointi on tarpeen, koska pelkkien kasvihuonekaasujen huomiointi saattaa johtaa osaoptimointiin. Vähintäänkin tulisi pyrkiä ymmärtämään toimenpiteiden terveys-, luonto- ja sosiaalisia vaikutuksia kuin myös suoria ja epäsuoria taloudellisia vaikutuksia. Nämä ovat monesti hyvin tärkeitä myös perusteltaessa toimenpiteitä päättäjille ja kansalaisille.

Erilaisia malleja ja työkaluja käytiin läpi yli 200. Mallit ja työkalut eivät kuitenkaan ole helposti yhdistettävissä kokonaismalliksi ilmasto-ohjelmien erilaisten vaikutusten arvioimiseen. Iso osa malleista on yksittäisissä tutkimus- ja kehittämisprojekteissa syntyneitä, usein Excel-ohjelmalla toteutettuja, ja niiden tietopohja tarvitsisi useissa tapauksissa päivytystä. Toisaalta tällaisesta aineistosta malleja ja työkaluja on hyvä jatkaa kokonaisvaltaisen vaikutusarvioinnin kehittämistä.

Ilmasto-ohjelmien monipuolisen vaikutusarvioinnin työkalun kehittämisessä on hyvä edetä vaiheittain. Tämän raportin luvussa 5 on esitetty kaksi jatkotoimenpide-ehdotusta. Mallikirjaston ideana on tehdä arvioitavat vaikutusluokat ja nyt jo käytettävissä olevat mallit ja työkalut tutuiksi ilmastotoimenpiteiden suunnittelijoille helppokäyttöisellä verkkopalvelulla. Hybridimallin mittaristo-lähestyminen taas avaisi vaikutuksia kokonaisvaltaisemmin näkyväksi sekä suunnittelijoille, päättäjille että mahdollisesti suurelle yleisölle. Hybridimallissa voitaisiin käyttää suoraan hyväksi paranevia malleja ja muun muassa niiden avautuvia rajapintoja.

Hybridimallia koskeva ehdotuksemme on hanke, jossa kuuden kaupungin ja HSY:n yksittäisille mutta edustaville esimerkkitoimenpiteille tehdään kokonaisvaltainen vaikutusarviointi, ja samalla kehitetään ja käytetään hybridityökalua toimenpiteiden erilaisten vaikutusten arviointiin. Lisäksi hankkeessa toteutettaisiin mallikirjasto.

LÄHTEET

- Aakkula J., Asikainen A., Kohl J., Lehtonen A., Lehtonen H., Ollila P., Regina K., Salminen O., R. Sievänen & Tuomainen, T. 2019. Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 20/2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-650-8> [viitattu 19.9.2019]
- Ahopelto, L. 2011. Paimionjoen KUTOVA-analyysin tulokset. Päivitetty Hjerpe, T. 2012. Suomen ympäristökeskus. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BA66FEBAF-47AB-483C-B6AF-68C6459F7EF6%7D/100311> [viitattu 1.10.2019]
- Ansio, V., Airaksinen, N., Viinikainen, T. & Kinnunen, L. 2013. Kävelyn ja pyöräilyn terveysvaikutusten taloudellinen arviointi Joensuussa. Liikunnan ja kansanterveyden edistämissäätiö LIKES. Kopio Niini Oy. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 280. https://www.kkiohjelma.fi/filebank/1220-Heat_Joensuu_pieni.pdf [viitattu 27.9.2019]
- Antikainen R.(toim.) 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2010. <http://hdl.handle.net/10138/39822> [viitattu 10.9.2019]
- Benviroc. 2018. CO2-raportti - Päästölaskennan tuoteseloste. Benviroc Oy. https://www.kaarina.fi/ymparisto_ja_luonto/ymparistontila/fi_FI/co2raportti/files/99828694155358870/default/CO2-raportti_tuoteseloste_2018.pdf [viitattu 4.9.2019]
- Circwaste 2019. Materiaalit ja kiertotalous. https://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Materiaalit_ja_kiertotalous [viitattu 20.9.2019]
- CLIC Innovations. 2017. Materiaalien arvovirrat – Tutkimustuloksia kiertotaloudesta. <http://arvifinalreport.fi/about/print-report> [viitattu 30.9.2019]
- CoM. 2019. Covenant of Mayors for Climate & Energy. <https://www.covenantofmayors.eu/en/> [viitattu 28.8.2019]
- ESMERALDA. 2018. Enhancing ecosystem services mapping for policy and decision making. ESMERALDA-project. <http://www.maes-explorer.eu/> [viitattu 1.5.2019]
- Espoo. 2016. Espoon ilmasto-ohjelma 2016-2020. Espoon kaupunki. <https://www.espoo.fi/download/noname/%7B31C147AD-948C-4FF7-9381-9C8A3BE1DC4C%7D/76310> [viitattu 14.10.2019]
- Bertoldi, P. 2018(toim.) Guidebook 'How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) – Part 1- The Secap Process, step-by-step towards low carbon and climate resilient cities by 2030. European Union. Publications Office of the European Union, Luxembourg. JRC Science for Policy Report. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/338a9918-f132-11e8-9982-01aa75ed71a1/language-en> [viitattu 4.9.2019]
- Freshabit. 2019. FRESHABIT LIFE IP -valuma-aluekunnostukset ja mallinnukset. <https://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=982a3b2b4c3845c7a573941dcd6bf7bd> [viitattu 17.9.2019]
- Foodweb. 2013. Foodplate-ateriasovellus. http://foodweb.ut.ee/Ateriasovellus_288.htm [viitattu 13.9.2019]
- GHG Protocol. 2014. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories. An Accounting and Reporting Standard for Cities. http://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP_GPC_0.pdf [viitattu 4.9.2019]
- GHG Protocol. 2015. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised edition. World Business Council for Sustainable Development, World Resources Institute. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf> [viitattu 13.9.2019]
- GHG Protocol. 2019. Calculation tools. <https://ghgprotocol.org/calculation-tools> [viitattu 13.9.2019]
- Grönroos, J., Mattila, P., Regina, K., Nousiainen, J., Perälä, P., Saarinen, K., & Mikkola-Pusa, J. 2009. Development of the ammonia emission inventory in Finland. Revised model for agriculture. Finnish Environment Institute, Helsinki. The Finnish Environment 8/2009. <http://hdl.handle.net/10138/38030> [viitattu 13.9.2019]
- Haapamäki, T. 2010. Liikennejärjestelmän EMME-kuvauksen kehittäminen joukkoliikenteen suunnittelun tueksi. Aalto-yliopisto, insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta, Espoo. Diplomityö. <http://lib.tkk.fi/Dipl/2010/urn100402.pdf>
- Haaspuro, T. 2013. LUONNIKAS – Laskentatyökalu kunnille luontoperäisten kasvihuonekaasujen nielujen ja lähteiden arviointiin. Yrkeshögskolan Novia, Vaasa. Serie A: Artiklar 2/2013. <https://www.novia.fi/dmsdocument/40> [viitattu 13.9.2019]
- Harju, J., Kyyrä, T.; Kärkkäinen, O.; Matikka, T. & Ojala, L. (2018) Työn tarjonnan mallintaminen osana talouspolitiikan vaikutusarviointia. Valtioneuvosto. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 72/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-623-2> [viitattu]
- Helsinki. 2018. Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma. Helsingin kaupunki. Helsingin kaupungin keskushallinnon julkaisuja 2018:4. <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/HNH-2035-toimenpideohjelma.pdf> [viitattu 28.8.2019]

- Hildén, M., Mattinen, M., & Mäenpää, I. 2012. Ilmastomuutoksen hillintään tähtäävien politiikkatoimenpiteiden raportointi EU:lle ympäristöministeriön hallinnonalalta. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 14/2012. <http://hdl.handle.net/10138/39769> [viitattu 13.9.2019]
- Hillo, K., Kauppinen E., Keränen, M. & Vesajoki, T. 2016. Mallinnusmenetelmiä pyöräliikenteen suunnitteluun ja arviointiin. Väylävirasto, Helsinki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2016. https://www.motiva.fi/files/11280/Mallinnusmenetelmia_pyoraliikenteen_suunnitteluun_ja_arviointiin.pdf [viitattu 10.9.2019]
- Hinku. 2019. Hinku-verkosto. Hiilineutraali Suomi, Suomen ympäristökeskus. <http://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Hinku> [viitattu 28.8.2019]
- Hjerpe, T. 2013. Kustannustehokkaiden vesiensuojelutoimenpiteiden valintatyökalu – KUTOVA; Käyttöopas. Suomen ympäristökeskus. <http://aranda.fi/download/noname/%7B25E7D23E-AC0D-4B4F-8862-44850D662595%7D/94368> [viitattu 25.9.2019]
- Hjerpe, T., Taskinen, A., Kotamäki, N. & Malve, O. 2014. Mallien ja työkalujen yhteiskäyttö systemaattisen vesienhoidon tukena. Julk.: Kustannustehokas ja vuorovaikutteinen vesienhoito. Rehevöitymisen seuranta-, tutkimus- ja asiantuntijapalvelut puntarissa. <https://www.syke.fi/download/noname/%7B1863D59F-9BEB-4952-BAE7-37E8B4D1077C%7D/96686> [viitattu 20.9.2019]
- Hjerpe, T. & Väisänen, S. 2015. A practical tool for selecting cost-effective combinations of phosphorus loading mitigation measures in Finnish catchments. Finnish Environment Institute. International Journal of River Basin Management, 13(3): 363-376, DOI: 10.1080/15715124.2015.1012516 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15715124.2015.1012516> [viitattu 7.10.2019]
- Honkatukia, J., Lehtomaa, J., Alimov, N., Huovari, J. & O.P. Ruuskanen. 2019. Alueellisen taloustiedon tietokanta. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 41/2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-753-6> [viitattu 7.10.2019]
- HSL. 2016a. Liikennejärjestelmän terveysvaikutukset. Esiselvitysluonnos. Helsingin seudun liikenne, Helsinki. https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/liikennejarjestelman_terveysvaikutuksen_esiselvitysluonnos_27.9.2016.pdf [viitattu 15.10.2019]
- HSL. 2016b. Helsingin seudun yksilömallien päivitys ja testaus. HESY 2.1. Helsingin seudun liikenne, Helsinki. HSL:n julkaisu 23/2016. https://www.hsl.fi/sites/default/files/helsingin_seudun_yksilomallien_paivitys_ja_testaus_23_2016.pdf [viitattu 10.9.2019]
- HSY. 2016. Saavutettavuusvyöhykkeet SAVU. https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/seututieto/paikkatiedot/kartta-aineistot/suunnitteluaineistot/Sivut/savu_vyohykkeet.aspx [viitattu 26.9.2019]
- HSY. 2017. Yhdyskuntajätteiden seudullinen arviointi: Yhdyskuntajätteet ja niiden kierrätysasteet pääkaupunkiseudulla, Turun seudulla ja Oulun seudulla. Helsingin seudun ympäristöpalvelut-kuntayhtymä. <https://circhubs.fi/wp-content/uploads/2019/08/kierratysasteraportti.pdf> [viitattu 17.10.2019]
- HSY. 2019a. Petra-jätevertailu. <https://www.petrajatevertailu.fi/> [viitattu 14.9.2019]
- HSY. 2019b. Ilmanlaatu kartta. https://hsy.fi/fi/asukkaalle/ilmanlaatu/Sivut/ilmanlaatu_kartta.aspx [viitattu 27.9.2019]
- Huttunen, I., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M. & B. Vehviläinen. 2014. Vesistökuormitusmallin VEMALA ja skenaarioiden kehitystyö. VELHO loppuraportti. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B080CDA29-9CEE-40A7-90CF-5BB7487268C1%7D/104060> [27.9.2019]
- Huttunen, M., Huttunen I., Vehviläinen, B. & P. Salmi. 2010. TEHO-hankkeen skenaariot SYKE-WSFS-VEMALA mallilla. Suomen ympäristökeskus. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE4EB32E4-E241-4E2E-AE97-97628800F2F1%7D/55530> [viitattu 30.9.2019]
- Häkkinen, T. 2011. Ilmari® Taustamateriaalit. VTT, 8 s. <https://www.vtt.fi/files/sites/ilmari/hiilijalanjalki.pdf> [viitattu 11.9.2019]
- Härkönen, S., Neumann, M., Muesc, V., Berninger, F., Bronisz, K., Cardellin, G., Chiricif, G., Hasenauer, H., Koehl, M., Langg, M., Merganiovah, K., Mohren, F., Moiseyev, A., Morenob, A., Murak, M., Muyse, B., Olschowsky, K., Del Perugia, B., Rörstahl, P.K., Solberg, B., Thivolle-Cazat, A., Trotsiukh, V. & Mäkelä, A. 2019. A climate-sensitive forest model for assessing impacts of forest management in Europe. Environmental Modelling & Software 115: 128–143. <http://hdl.handle.net/10138/300457> [viitattu 17.9.2019]
- Ignatius, S.-M. 2012. VIRVA-mallin sovellus Paimionjoen vesistöalueella. Päivittänyt Hjerpe, T. 2013. Suomen ympäristökeskus. <https://www.syke.fi/download/noname/%7BA7925CA9-A822-4878-BAF5-8ADDC80C89CD%7D/94430> [viitattu 30.9.2019]
- Ilmatieteenlaitos. 2017. Soil carbon model – Yasso. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/yasso> [viitattu 25.9.2019]
- Jaakkola, E., Tattari, S., Ekholm, P., Pietola, L., Posch, M. & Bärlund, I. 2012. Simulated effects of gypsum amendment on phosphorus losses from agricultural soils. Agricultural and Food Science 21(3): 292–306. <https://doi.org/10.23986/afsci.6773> [viitattu 30.9.2019]

- Jauhiainen, J. 2012. MALTTI – työkalu matalahiilisen aluekehityksen tueksi. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäyte https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/54289/joonas_jauhiainen.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 11.9.2019]
- JYU. 2016. ARVI-työkalu. IMPERIA-hanke. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Jyväskylän yliopisto. <https://www.jyu.fi/science/fi/bioenv/tutkimus/luonnonvarat/imperia-hanke/tyokalupakki-1/arvi-ohje> [viitattu 20.9.2019]
- Jäppinen, J. & Heliölä, J. 2015. Towards a Sustainable and Genuinely Green Economy. The value and social significance of ecosystem services in Finland (TEEB for Finland). Ympäristöministeriö, Helsinki. The Finnish Environment 1/2015. <http://hdl.handle.net/10138/152815> [viitattu 24.9.2019]
- Jääskeläinen, T., Kautto, P. & Similä, J. 2013. Menetelmiä ja tietolähteitä politiikkatoimien vaikutusten arviointiin. Ympäristöministeriö, Helsinki. Ympäristöministeriön raportteja 16/2013. https://www.ym.fi/download/YMra162013_Menetelmia_ja_tietolahteita_politiikkatoimien_vaiikutusten_arviointiin/70dc0dc5-d0bb-4f1c-9128-437a80ac6dd8/40144 [viitattu 16.9.2019]
- Kallio, A.M.I. 2009. Accounting for uncertainty in a forest sector model using Monte Carlo simulation. Forest Policy and Economics 2010(12): 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.09.014> [viitattu 1.10.2019]
- Karvosenoja N. 2008. Emission scenario model for regional air pollution. Finnish Environment Institute, Helsinki. Monographs of the Boreal Environment Research 32: 58 s. <http://hdl.handle.net/10138/39332> [viitattu 17.9.2019]
- Kela. 2018. Terveyspuntari. Kansaneläkelaitos. <https://www.kela.fi/terveyspuntari> [viitattu 20.9.2019]
- Kephalopoulos, S., Paviotti, M. & Anfosso-Lédée, F. 2012. Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). European Commission. Joint Research Centre. Institute for Health and Consumer Protection. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 180 s. http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC72550/cnossos-eu%20jrc%20reference%20report_final_on%20line%20version_10%20august%202012.pdf [viitattu 16.9.2019]
- Klemelä, J. 2016. Järjestöt, vaikuttavuus & raha – SROI-arviointimenetelmä. Suomen sosiaali- ja terveys ry. SOSTEn julkaisuja 1/2016. 85 s. https://www.researchgate.net/publication/313217347_Jarjestot_vaiikutavuus_raha_-_SROI-arviointi-menetelma [viitattu 20.9.2019]
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Lehtilä, A., Similä, L., Honkatukia, J., Hildén, M., Rehunen, A., Saikku, L., Salo, M., Savolahti, M., Tuominen, P. & Vainio, T. 2019. Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys. Valtionneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 24/2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-656-0> [viitattu 19.9.2019]
- Kragh, J., Jonasson, H., Plovsing, B. & Sarinen, A. 2006. User's Guide Nord2000 Road. Nordic Council of Ministers. Hørsholm. http://egra.cedex.es/EGRA-ingles/I-Documentacion/National_Methods/Users_Guide_Nord2000_Road.pdf [27.9.2019]
- Kragh, J. 2011. Traffic Noise Prediction with Nord2000 – An Update. Gold Coast Proceedings of ACOUSTICS 110/2011; 1–8. https://acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2011/papers/p110.pdf [viitattu 7.10.2019]
- Kujanpää, M. 2014. VTT SULCA -elinkaarilaskentaohjelma ja sen käyttö. Tekstiilien ympäristövaikutusten arviointi. Esitelmä. VTT. <https://www.lyyti.fi/att/05b6520844e/73907ba1E3ddE5D3c3A7066bAfF0F69b605521a6390b3c24eA1f9DCfb/0> [viitattu 13.9.2019]
- Kupiainen, K., Denby, B.R., Gustafsson, M., Johansson, C., Ketzel, M., Kukkonen, J., Norman, M., Pirjola, L., Sundvor, I., Bennet, C., Blomqvist, G., Janhäll, S., Karppinen, A., Kauhaniemi, M., Malinen, A. & Stojiljkovic A. 2017. Road dust and PM10 in the Nordic countries. Measures to reduce road dust emissions from traffic. Nordic Council of Ministers, Kööpenhamina. 32 s. <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1069152/FULLTEXT02.pdf> [viitattu 17.9.2019]
- Kupiainen K.J., Aamaas B., Savolahti M., Karvosenoja N., Paunu V.-V. 2019. Climate Impact of Finnish Air Pollutants and Greenhouse Gases using Multiple Emission Metrics. Atmospheric Chemistry and Physics 19: 7743–7757. <https://doi.org/10.5194/acp-19-7743-2019> [viitattu 17.9.2019]
- Kuusterä, J., Aalto, S., Moilanen, A., Toivonen, T., & Lehtomäki, J. (2015). Uudenmaan viherrakenteen analysointi Zonation-menetelmällä. Uudenmaan liitto, Helsinki. Uudenmaan liiton julkaisuja E145 https://www.uudenmaanliitto.fi/files/15491/Uudenmaan_viherrakenteen_analysointi_Zonation-menetelmalla_E145-2015.pdf [viitattu 26.9]
- LAMK. 2019. Materiaalijalanjälkilaskuri. <http://niisku.lamk.fi/~matlaskuri/> [viitattu 14.9.2019]
- Launiainen S., Sarkkola S., Laurén A., Puustinen M., Tattari S., Mattsson T., Piirainen S., Heinonen J., Alakukku, L. & Finér L. 2014. KUSTAA- työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33/2014. <http://hdl.handle.net/10138/144108> [viitattu 17.9.2019]
- Lehtonen, H. 2013. Sector-level economic modeling as a tool in evaluating greenhouse gas mitigation options. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science, 62(4): 326–335. DOI: 10.1080/09064702.2013.797011.

- https://www.researchgate.net/publication/258243826_Sector-level_economic_modeling_as_a_tool_in_evaluating_green-house_gas_mitigation_options [viitattu 19.9.2019]
- Lehtonen, H. & Rankinen, K. 2015. Impacts of agri-environmental policy on land use and nitrogen leaching in Finland. *Environmental Science and Policy* 50: 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.02.001> [viitattu 26.9.2019]
- Lehtonen H., Niskanen O., Karhuja T. & Jansik, C. 2017. Maatalouden rakennekehitys ja investointitarve vuoteen 2030: Markkinaskenaarioiden vaikutus maatalouden tuotantorakenteeseen. Luonnonvarakeskus, Helsinki. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2017. https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2017/04/luke-luobio_19_2017.pdf [viitattu 19.9.2019]
- Lehtonen H., Salminen O., Sievänen R., Tuomainen T., Ollila P., Packalen T., Asikainen A., Thessler S., Ahtikoski A., Uotila E. & R. Mäkipää 2019. Luonnonvarakeskus, Helsinki. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 20/2019. https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2019/04/luke-luobio_20_2019.pdf [viitattu 25.9.2019]
- Lehtonen, K., Saarelainen, J., Pitkänen, J.-P., Vesajoki, T. & Kauhanen, K. 2012. Liikenteen välityskykytarkastelukäytännöt: Esiselvitys. Liikennevirasto, Helsinki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 37/2012. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2012-37_liikenteen_valityskyky_web.pdf [viitattu 30.9.2019]
- Lignell, R., Miettunen, E., Tuomi, L., Ropponen, J., Kuosa, H., Attila, J., Puttonen, I., Lukkari, K., Pelttonen, H., Lehtoranta, J., Huttunen, M., Korppoo, M., Tikka, K., Mäyrä, J., Heiskanen, A.-S., Gustafsson, B., Gustafsson, E., Hänninen, J., Thingstad, F., Kaurila, K., Vanhatalo, J., Westerlund, A. & S.-M. Siiriä. 2018. Rannikon (Suomenlahti, Saaristomeri, Selkämeri) kokonaiskuormitusmalli: ravinnepäästöjen vaikutus veden tilaan – Kehityshankkeen loppuraportti (XI 2015- VI 2018). SYKE, Ilmatieteenlaitos, Åbo Akademi, Baltic Nest Institute, Turun yliopisto, Bergenin yliopisto, Helsingin yliopisto. 84 s. <https://www.syke.fi/download/noname/%7BCB9A5FC1-8CD8-4F81-B3DE-1604A772AE7A%7D/149144> [viitattu 13.9.2019]
- Liikennevirasto. 2015. Tiehankkeiden arviointiohje. Päivitetty lokakuussa 2015. Liikennevirasto, Helsinki. Liikenneviraston ohjeita 13/2013. https://vayla.fi/documents/20473/34253/lo_2013-13_tiehankkeiden_arviointiohje_web_p%C3%A4ivitetty+21.10.2015.pdf/2a9aa525-0d9b-4602-9a5b-067b52312e55 [viitattu 16.9.2019]
- Liimatainen, H., Viri, R., Haapamäki, R., & Tainio, M. (2016). Liikennejärjestelmän ja -hankkeiden kokonaisvaltainen arviointi. Tampereen teknillinen yliopisto, Liikenteen tutkimuskeskus Verne. Tutkimusraportti 93. https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/116655/Verne_tutkimusraportti93.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 25.9.2019]
- Lilja H., Puustinen M., Turtola E. & Hyväluoma, J. 2017. Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus: Valtakunnallisen kattavuuden saavuttaminen ja WMS-palvelu. Luonnonvarakeskus, Helsinki. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimuskeskus 42/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-431-1> [viitattu 17.9.2019]
- Lindroos, T., Hast, A., Ekholm, T. & Savolainen, I. 2011. Arvio ei-päästökauppasektorin päästövähennyskeinoista ja -kustannuksista Suomessa. VTT, Espoo. VTT Tiedotteita 2605. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2605.pdf> [viitattu 19.9.2019]
- Lindroos T., Ekholm T. & Savolainen, I. 2013. Arvio Suomen ei-päästökauppasektorin pitkän ajan tavoitteesta ja päästöistä vuoteen 2030. VTT, Espoo. VTT Tutkimusraportti R-01286-13: 29 s. <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/VTT-R-01286-13.pdf> [viitattu 19.9.2019]
- Lounasheimo J., 2009. Kasvihuonekaasupäästöjen alueellisten laskentamenetelmien vertailua. Laurea-ammattikorkeakoulu, Hyvinkää. 89 s. <https://www.theseus.fi/handle/10024/2232>. [viitattu 13.9.2019]
- LUKE. 2014. ARVO-ohjelmisto. <http://www.metla.fi/metinfo/arvo/index.htm> [viitattu 19.9.2019]
- LUKE. 2016. MOTTI-ohjelmisto. <http://www.metla.fi/metinfo/motti/> [viitattu 25.9.2019]
- LUKE. 2017. MELA-ohjelmisto. <http://mela2.metla.fi/mela/mela/index.htm> [viitattu 26.9.2019]
- LUKE. 2019. MELA-ohjelmisto uudistetaan avoimen lähdekoodin ohjelmistoksi. <https://www.luke.fi/uutiset/mela-ohjelmisto-uudistetaan-avoimen-lahdekoodin-ohjelmistoksi/> [viitattu 26.9.2019]
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017. Suomen normilanta - laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvarakeskus, Helsinki. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. http://julkuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540239/luke-luobio_47_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 3.10.2019]
- Lylykangas, K., Andersson, A., Kiuru, J., Nieminen, J. & Päättälä, J. 2015. Rakenteellinen energiatehokkuus- Opas. https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/opaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf [viitattu 13.9.2019]
- Marttunen M., Grönlund S., Hokkanen J., Jantunen J., Karjalainen T.P., Luodemäki S., Mustajoki J., Neste J., Saarikoski H., Vallius E., Vartia M., Vehmas A. & Vienonen, S. 2015. Hyviä käytäntöjä ympäristövaikutusten arvioinnissa. IMPERIA-hankkeen yhteenveto. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 39/2015. <http://hdl.handle.net/10138/159403> [viitattu 17.9.2019]

- Mattila, T. 2013. Foodplate evaluation tool 1.08 beta 3. Suomen ympäristökeskus. http://foodweb.ut.ee/s2/194_221_102_Foodplate_evaluation_tool_108_beta.xlsx [viitattu 13.9.2019]
- Mattinen, M. & Nissinen, A. 2011. Carbon footprint calculators for public procurement. Finnish Environment Institute, Helsinki. The Finnish Environment 36/2011. <http://hdl.handle.net/10138/37040> [viitattu 13.9.2019]
- Mattinen, M. & Heljo J. 2016. Modeling of Finnish building sector energy consumption and greenhouse gas emissions – specification of POLIREM policy scenario model. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 26/2016. <http://hdl.handle.net/10138/164571> [viitattu 24.9.2019]
- Mattinen M., Heljo J. & Savolahti, M. 2016. Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2016. <http://hdl.handle.net/10138/166673> [viitattu 25.9.2019]
- Mikkonen, N., Leikola, N., Lahtinen, A., Lehtomäki, J. & Halme, P. 2018. Monimuotoisuudelle tärkeitä metsäalueita Suomessa. Puustoisten elinympäristöjen monimuotoisuusarvojen Zonation-analysien loppuraportti. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/2018. <http://hdl.handle.net/10138/234359> [viitattu 26.9.2019]
- Moilanen, P., Salomaa, O. & Niinikoski, M. 2014. Valtakunnallinen liikkumisvalintojen yksilömalli. Liikennevirasto, Helsinki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 12/2014. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2014-12_valtakunnallisen_liikkumisvalintojen_web.pdf [viitattu 10.9.2019]
- Motiva. 2017a. VALTTI-elinkaarikustannuslaskuri. <https://valaistustieto.fi/laskuri/> [viitattu 19.9.2019]
- Motiva. 2017b. Pientalon lämmitystapojen vertailulaskuri. <http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/> [viitattu 19.9.2019]
- Motiva. 2019. Laskentatyökalu energiatehokkuustoimien taloudellisen kannattavuuden tarkasteluun. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/laskentatyokalu_energiatehokkuustoimien_taloudellisen_kannattavuuden_tarkasteluun [viitattu 19.9.2019]
- MTT. 2009. Elintarvikeketjun ympäristövastuun raportoinnin kehittäminen (KETJUVASTUU)-hanke. Loppuraportti Maa- ja metsätalousministeriölle. <http://www.laaturketju.fi/laaturketju/www/fi/hankkeet/2009/ketjuvastuu.pdf> [viitattu 18.9.2019]
- Niemi J., Liesivaara P., Lehtonen H., Huan-Niemi E., Kettunen L., Kässi P. & Toikkanen, H. 2014. EU:n yhteinen maatalouspolitiikka vuosina 2014–2020 ja Suomen maatalous. MTT raportti 130. <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/482044/mttraportti130.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 19.9.2019]
- Nippala, E. & Vainio, T. 2016. Asuinrakennusten korjaustarve 2006–2035. VTT. VTT Technology 274. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T274.pdf> [viitattu 30.9.2019]
- Nissinen, A. & Savolainen, H. (toim). 2019. Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö - ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2019. <http://hdl.handle.net/10138/300737> [viitattu 4.9.2019]
- Nykänen, H., Uosukainen, S., Siponen, D. & Di Napoli, C. 2013. Ehdotus tuulivoimamallin mallinnuksen laskentaohjelmaksi ja parametrien valintaan. VTT, Espoo. Tutkimusraportti VTT-R-04565-13. <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/VTT-R-04565-13.pdf> [2.10.2019]
- Oikeusministeriö. 2007. Säädos ehdotusten vaikutusten arviointi: Ohjeet. Oikeusministeriön julkaisu 6/2007. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-466-431-8> [viitattu 19.9.2019]
- Oikeusministeriö. 2019. Yhdenvertaisuuden arviointi. Yhdenvertaisuuden arvioinnin työkalu. <http://yhdenvertaisuus.finlex.fi/> [viitattu 20.9.2019]
- Oulu. 2018. Oulun kaupungin kestävä energian ja ilmastoinnin toimintasuunnitelma (SECAP). https://www.ouka.fi/documents/173447/260934/CoM_Oulu_SECAP_18122018.pdf/50613cee-898a-4953-938b-0f2b44e717b8 [viitattu 31.10.2019]
- Oulu. 2019. Ympäristöohjelma 2026. Kohti hiilineutraalia Oulua. Oulun kaupunki. <https://www.ouka.fi/documents/64417/18686833/Ymp%C3%A4rist%C3%B6ohjelma2026-KH-12082019.pdf/33caeb8d-373c-4a7c-820d-22b135a77177> [viitattu 31.10.2019]
- Paldanius, J. 2017. SOVA-lain mukainen ympäristöarvioinnin opas Ympäristöministeriö, Helsinki. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4723-4> [viitattu 13.5.2019]
- Palo, N. 2017. BRUTUS – Käytännön kokemuksia. Esitelmä. Strafica Oy. https://kuntatekniikka.fi/wp-content/uploads/sites/2/2017/11/KEHTO_Joensuu09112017_Brutus_k%C3%A4yt%C3%A4nn%C3%B6n-kokemuksia_NikoPalo.pdf [viitattu 11.9.2019]
- Peltola, H. & Räsänen, J. 2009. Liikenneturvallisuus erilaisissa suunnitelmissa – Esiselvitys. VTT, Espoo. VTT tiedotteita 2469. <https://www.vtt.fi/files/projects/tl2025/liikeril.pdf> [viitattu 27.9.2019]

- Peltonen-Sainio, P., Lehtonen, H., Regina, K. & Tiainen, J. Pellon käytön optimointi tuotannon kestäväksi tehostamiseksi – Loppuraportti. Luonnonvarakeskus. <https://www.opal.fi/wp-content/uploads/sites/3/2018/09/PeltoOptimi-loppuraportti-FINAL.pdf> [viitattu 10.10.2019]
- Perrels, A., Ahlqvist, K., Heiskanen, E. & Lahti, P. 2006. Kestävän kulutuksen mahdollisuudet ekotehokkaassa elinympäristössä. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Helsinki. VATT-tutkimuksia 120. <https://core.ac.uk/download/pdf/153492045.pdf> [viitattu 13.9.2019]
- Peters G. & Solli, C. 2010. Global carbon footprints. Methods and import/export corrected results in global carbon footprint studies. Nordic Council of Ministers, Kööpenhamina. TemaNord 592/2010. <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:701599/FULLTEXT01.pdf> [viitattu 4.9.2019]
- PRé. 2019. PRé Sustainability. About Simapro. <https://simapro.com/about/> [viitattu 13.9.2019]
- Puustinen, M., E. Turtola, M. Kukkonen, J. Koskiahio, J. Linjama, R. Niinioja & Tattari, S. 2010. VIHMA- A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. Agriculture, ecosystems and environment 138: 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.003> [viitattu 25.9.2019]
- Päivänen, J., Kohl, J., Manninen, R., Sairinen, R. & Kyttä, M. 2005. Sosiaalisten vaikutusten arviointi kaavoituksessa. *Avauksia* sisältöön ja menetelmiin. Ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 766. <http://hdl.handle.net/10138/40595> [viitattu 19.9.2019]
- Pöyry. 2015. Jätteiden energiahyödyntäminen Suomessa. Energiategollisuus ry. https://energia.fi/files/405/ET_Jatteiden_energiakaytto_Loppuraportti_161015.pdf [viitattu 15.10.2019]
- Rakli. 2019. Energiategollisuus. <https://www.rakli.fi/kaytto-yllapito/energiategollisuus.html> [viitattu 20.9.2019]
- Rankinen, K., Karvonen, T., & Butterfield, D. 2004. A simple model for predicting soil temperature in snow-covered and seasonally frozen soil: Model description and testing. Hydrology and Earth System Sciences. 8(4): 706–716. https://www.researchgate.net/publication/29626778_A_simple_model_for_predicting_soil_temperature_in_snow-covered_and_seasonally_frozen_soil_Model_description_and_testing [viitattu 22.10.2019]
- Rankinen, K., J. E. Cano Bernal, M. Holmberg, K. Vuorio and K. Granlund (2019). Identifying multiple stressors that influence eutrophication in a Finnish agricultural river. Science of The Total Environment 658: 1278–1292. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718351738> [viitattu 22.10.2019]
- Regina, K., Lehtonen, H., Nousiainen, J., & Martti, E. (2009). Modelled impacts of mitigation measures on greenhouse gas emissions from Finnish agriculture up to 2020. Agricultural and Food Science. 18(3-4). DOI: <https://doi.org/10.23986/afsci.5968> [viitattu 22.10.2019]
- Rehunen, A. 2019. Päivittäisen liikkumisen tunnusluvut ja hiilidioksidipäästöt kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenteen vyöhykkeillä 2017 sekä maaseutualueilla. Suomen ympäristökeskus. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BDFB91CBB-3365-4C17-BB65-FFB6C767818F%7D/151058> [viitattu 29.10.2019]
- Repo, A., Järvenpää, M., Kollin, J. & Liski, J. 2017. Yasso15 graphical user-interface manual. Finnish Environment Institute, Aalto University, Simosol Oy, Finnish Meteorological Institute. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/documents/31422/303050324/Yasso15+GUI+manual+170210/abf21ec4-cd6e-4835-86fc-8f8b26a6ab3d> [viitattu 1.10.2019]
- Rinta, E. 2014. Liikennemallien käyttö joukkoliikenteen aikataulusuunnittelussa. Aalto yliopisto, Espoo. Diplomityö [97 s.](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/14115/master_Rinta_Eeva_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y) https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/14115/master_Rinta_Eeva_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 25.9.2019]
- Ristikartano, J., Sirkä, A., Sumentola, J. & Touru, T. 2011. Tiehankkeiden vaikutusmallin kehittäminen. Liikennevirasto. Liikennevirasto, Helsinki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 46/2011. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2011-46_tiehankkeiden_vaiutusmallin_web.pdf [viitattu 10.9.2019]
- Sahimaa, O. 2017. Recycling potential of municipal solid waste in Finland. Aalto University. Aalto University publication series. Doctoral dissertations 184/2017. https://www.researchgate.net/publication/330366702_Recycling_potential_of_municipal_solid_waste_in_Finland [viitattu 14.9.2019]
- Salo, M., Nissinen, A., Mattinen, M., Manninen, K., Dahlbo, H. & Judl, J. 2019. Ilmastodieetti – mihin sen antamat ilmastopainot perustuvat? <https://ilmastodieetti.ymparisto.fi/ilmastodieetti/documentation/Laskentaperusteet.pdf> [viitattu 8.11.2019]
- Savolahti, M., Kangas, L., Karppinen, A., Karvosenoja, N., Kukkonen, J., Lanki, T., Nurmi, V., Palamarchuk, Y., Paunu, V.-V., Sofiev, M., & Tiittanen, P. 2018. Ilmansaasteiden haittakustannusmalli Suomelle (IHKU). Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 26/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-530-3> [viitattu 16.9.2019]
- Savolahti, M., Lehtomäki, H., Karvosenoja, N., Paunu V.-V., Korhonen A., Kukkonen J., Kupiainen K., Kangas L., Hänninen O., Karppinen A. 2019. Residential wood combustion in Finland: PM2.5 emissions and health impacts with and without

abatement measures. International Journal of Environmental Research and Public Health 16(16)<https://doi.org/10.3390/ijerph16162920> [16.9.2019]

- Savolainen, H., Karhinen, S., Ulvi, T. & Kopsakangas-Savolainen, M. 2019. Hajautetun uusiutuvan energian aluetaloudellisten vaikutusten arviointi ENVIREGIO-mallilla. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20/2009. <http://hdl.handle.net/10138/303316> [viitattu 20.9.2019]
- Seppälä, J., Mäenpää, I., Koskela, S., Mattila, T., Nissinen, A., Katajajuuri, J.-M., Härmä, T., Korhonen, M.-R., Saarinen, M. & Virtanen, Y. 2009. Suomen kansantalouden materiaalivirtojen ympäristövaikutusten arviointi ENVIMAT-mallilla. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20/2009. <http://hdl.handle.net/10138/38010> [viitattu 4.9.2019]
- Siimes, K. & Alakukku, L. 2008. Torjunta-aineiden hajoamisen ja huuhtoutumisen mallinnus. Julk: Ruuttunen P. & Laitinen, P. (toim.). Torjunta-aineiden toistuvan käytön ympäristöriskit perunanviljelyssä. Tampereen yliopistopaino. Juvenes Print Oy. Maa- ja elintarviketalous 119. 190 s. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/473710/met119.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 17.9.2019]
- Sillanpää, T. (2018). Liikennemallin ja paikkatietoanalyysin soveltuvuus joukkoliikenteen matkustajamäärien ennustamiseen Tampereella. Tampereen Teknillinen yliopisto. Diplomityö. 75 s. <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/26839/sillanpaa.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 10.9.2019]
- Sito Oy. 2017. Helsingin kaupungin meluselvitys 2017. .Helsingin kaupunki, Helsinki. Kaupunkiympäristön julkaisuja 4/2017. <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/liikenne-ja-kartat/ymparistovaikutukset/julkaisu-04-17.pdf> [viitattu 27.9.2019]
- Sosiaali- ja terveysministeriö. 2016. Säädosvaikutusten arviointi ihmisiin kohdistuvien vaikutusten näkökulmasta. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-00-3771-0> [viitattu 19.9.2019]
- Stadin ilmasto. 2014. Helsingin viherkerroin. <https://www.stadinilmasto.fi/viherkerroin/> [viitattu 26.9.2019]
- Stojiljkovic, A., Kauhaniemi, M., Kukkonen, J., Kupiainen, K., Karppinen, A., Denby, B., Kousa, A. & Ketzel, M. 2018. The impact of measures to reduce road dust, evaluated for a street canyon in Helsinki. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. 1–17. <https://doi.org/10.5194/acp-2018-973> [viitattu 25.9.2019]
- Sundquist, S. & Oulasvirta, L. (toim.) 2011. Vaikutusten ennakoarviointi kunnallisessa päätöksenteossa. Suomen Kuntaliitto, Helsinki. http://shop.kuntaliitto.fi/download.php?filename=uploads/arviointi_suositus_ebook.pdf [viitattu 19.9.2019]
- SYKE. 2014a. Vedenlaadun vaikutus vesistön virkistysarvoon - VIRVA. https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Vedenlaadun_vaiutus_vesiston_virkistyskayttoarvoon_VIRVA [viitattu 24.9.2019]
- SYKE. 2014b. Vesimuodostumakohtaisen kuormituksen vaikutus ja vähennystarpeen arviointi – LLR. [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Kuormitusvaikutusmalli_LLRLR/Vesimuodostumakohtaisen_kuormituksen_vai\(28199\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Kuormitusvaikutusmalli_LLRLR/Vesimuodostumakohtaisen_kuormituksen_vai(28199)) [viitattu 20.9.2019]
- SYKE. 2014c. Viljelyalueiden kiintoaine- ja ravinnekuormituksen hallintamalli – VIHMA. https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Viljelyalueiden_kiintoaine_ja_ravinnekuormituksen_hallintamalli_VIHMA [viitattu 20.9.2019]
- SYKE. 2016. ESLAB: Kuntatason hiililaselaskuri. http://www.d3.ymparisto.fi/d3/test_services/ESLab/ESLAB_GHG_budgets_FL.html [viitattu 13.9.2019]
- SYKE. 2017a. Itämeri-laskurin laskentaperusteet. [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Meri/Mallit_ja_tyokalut/Itamerilaskuri/Itamerilaskurin_laskentaperusteet\(42300\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Meri/Mallit_ja_tyokalut/Itamerilaskuri/Itamerilaskurin_laskentaperusteet(42300)) [viitattu 26.9.2019]
- SYKE. 2017b. Uusi mallityökalu auttaa rannikkovesien tilaluokittelussa ja kuormitusvaikutusten arvioinnissa. [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiskirjeet/Vesikirje/Uusi_mallityokalu_auttaa_rannikkovesien_\(43710\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiskirjeet/Vesikirje/Uusi_mallityokalu_auttaa_rannikkovesien_(43710)) [viitattu 26.9.2019]
- SYKE. 2018a. Kuntien asumisen suunnittelun sähköisen työkalun kehittäminen (KASSU). https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Kuntien_asumisen_suunnittelun_sahkoisen_tyokalan_kehittaminen_KASSU2 [viitattu 20.9.2019]
- SYKE. 2018b. Zonation-ohjelmisto. https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Luonto/Asiantuntijatyo/Zonationin_kaytto_Suomessa/Zonationohjelmisto [viitattu 24.9.2019]
- SYKE. 2018c. Ilmansaasteiden haittakustannusmalli Suomelle (IHKU). https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Ilmansaasteiden_haittakustannusmalli_Suomelle_IHKU [viitattu 24.9.2019]

- SYKE. 2019. Vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmä VEMALA. https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Vedenlaadun_ja_ravinnekuormituksen_mallinnus_ja_arviointijarjestelma_VEMALA [viitattu 26.9.2019]
- Syri. S. & Karvosenoja. N. 2001. Low-CO2 energy pathways versus emission control policies in acidification reduction. *Water, Air, and Soil Pollution* 130 (1–4): 1831–1836. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1013901212138> [viitattu 18.9.2019]
- Särkkä, T., Kalevanoja, H. & Tefke, J. 2016. Tulevaisuuden liikennemallit ja -ennusteet: Kirjallisuusselvitys. Liikenne- ja viestintäministeriö. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 11/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-485-2> [viitattu 10.9.2019]
- Säynäjoki, E., Heinonen, J., Rantsi, J., Ristimäki, M., Nissinen, A., Seppälä, J., Lahti, P. & Haapio A. 2012. Kaupunkien ja kuntien aluetasoiset ekolaskurit: Katsaus tarjolla oleviin ekolaskureihin. KEKO A väliraportti. Aalto-yliopisto, SYKE, VTT. <https://wiki.aalto.fi/download/attachments/69894786/4A.Katsaus%20tarjolla%20oleviin%20ekolaskureihin.pdf?version=1&modificationDate=1354289346000&api=v2> [viitattu 27.9.2019]
- Tampere. 2018a. Kestävä Tampere 2030 – kohti hiilineutraalia kaupunkia -linjaukset. Tampereen kaupunki. https://www.tampere.fi/tiedostot/k/SDRzRkTd/Kestava_Tampere_2030_julkaisu_final4.pdf [viitattu 31.10.2019]
- Tampere. 2018b. Smart Tampere. Kestävä Tampere 2030. Ohjelmasuunnitelma. Tampereen kaupunki. https://www.tampere.fi/tiedostot/k/5TKHioQeB/Kestava_Tampere_2030_ohjelmasuunnitelma.pdf [viitattu 31.10.2019]
- Tattari, S. & Finér, L. 2016. Kansallinen integroitu malli. SYKE, LUKE. http://www.metsa.fi/documents/10739/9170275/Kansallisen_valuma_aluemallin_toteuttamissuunnitelma.pdf/d930262d-9715-494e-9940-302295a370f8 [viitattu 17.9.2019]
- Tattari, S., Puustinen, M., Ahtiainen, H., Hjerpe, T., Huttunen, M., Iho, A., Koikkalainen, K., Kotamäki, N., Lehtonen, H., Lilja, H., Martinmäki-Aulaskari, K., Niskanen, O., Oinonen, S., Röman, E. & S. Väisänen. Tattari S. & Puustinen, M. (toim.) 2017. Toimivimmat mallityökalut vesistövaikutusten ja ravinteiden kierrätyksen kustannustehokkaaseen hallintaan. Valtioneuvosto. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 70/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-464-1> [viitattu 16.9.2019]
- Tenhunen, J. & Lohi, T.-K. 2001. Ekotehokkuus vesihuollossa. Menetelmä ja sovelluksia vesi- ja viemärlaitosten kestävän kehityksen arvioimiseksi. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 488. 68 s. <http://hdl.handle.net/10138/40536> [viitattu 25.11.2019]
- Thinkstep. 2019. GaBi Software. <http://www.gabi-software.com/> [viitattu 13.9.2019]
- THL. 2019a. Hyvinvointikompassi- Alueellisen hyvinvoinnin seurantaan. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. <https://www.hyvinvointikompassi.fi/fi/web/hyvinvointikompassi/etusivu> [viitattu 20.9.2019]
- THL. 2019b. Sotkanet- Tilastotietoja suomalaisten terveydestä ja hyvinvoinnista. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. <https://sotkanet.fi/sotkanet/fi/index> [viitattu 20.9.2019]
- THL. 2019c. TEAviisari. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. <https://teaviisari.fi/teaviisari/fi/index> [viitattu 20.9.2019]
- THL. 2019d. Opasnet. <http://fi.opasnet.org/fi/etusivu> [viitattu 20.9.2019]
- Tilastokeskus. 2019. SISU-mikrosimulointimallin lataus verkkosivuilta. <https://www.stat.fi/tup/mikrosimulointi/lataus.html> [viitattu 26.9.2019]
- Toivonen, T., Salonen, M., Tenkanen, H., Saarsalmi, P., Jaakkola, T. & Järvi, J. (2014). Joukkoliikenteellä, autolla ja kävelen: Avoin saavutettavuusaineisto pääkaupunkiseudulla. *Terra* 126 (3), 27–136. http://www.helsinki.fi/science/accessibility/publications/Toivonen_etal_2014_terra.pdf [viitattu 3.10.2019]
- Tuominen, P. 2015. Assessing energy efficiency potential in the building stock: Method for estimating the potential for improvements and their economic effects. VTT, Dissertation. VTT Science 117. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/science/2015/S117.pdf> [viitattu 13.9.2019]
- Tuominen, P., Holopainen, R., Eskola, L., Jokisalo, J. & Airaksinen, M. 2014. Calculation method and tool for assessing energy consumption in the building stock. *Building and Environment* 75. 153–160.
- Turku. 2018. Ilmastosuunnitelma 2029. Turun kaupungin kestävä ilmasto- ja energiatoimintasuunnitelma 2029. Turun kaupunki. https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/ilmastosuunnitelma_2029.pdf [viitattu 31.10.2019]
- Vantaa. 2019. Resurssiviisauden tiekartta. Vantaan kaupunki. Vantaan kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2019:2. https://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaawwwstructure/140089_ResurssiviisaudenTiekartta-18.6.2018-final.pdf [viitattu 14.10.2019]
- Virkamäki, P., Jääskeläinen, L., Huttunen, E., Salmelainen, L. & Hienonen, M. 2017. Viranomaisnäkökulma rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljenohjaukseen. Rakennustarkastusyhdistys RTY ry. https://www.motiva.fi/files/13008/Viranomaisnakokulma_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjalkiohjaukseen_Rakennustarkastusyhdistyksen_raportti_29.6.2017.pdf [viitattu 13.9.2019]

- VTT. 2015. Sähköinen E-PASS-työkalu auttaa arvioimaan rakennuksen korjaustoimenpiteet nopeasti. <https://www.vtt.fi/medi-alle/uutiset/s%C3%A4hk%C3%B6inen-e-pass-ty%C3%B6kalu-auttaa-arvioimaan-rakennuksen-korjaustoimenpiteet-nopeasti> [viitattu 11.9.2019]
- VTT. 2019. LIPASTO. Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. <http://lipasto.vtt.fi/index.htm> [viitattu 10.9.2019]
- Väisänen, S., Alasalmi, H., Aura, R., Bruun, E., Ekholm, P., Etholen, A., Haikonen, J., Helttunen, S., Hjerpe, T., Huttunen, I., Huttunen, M., Jaakkola, E., Junttila, S., Kaitala, S., Kallio, K., Kauppila, P., Kervinen, M., Kirjalainen, S., Koponen, S., Korppoo, M., Koskiahio, J., Kotamäki, N. & H. Kuosa, 2013. Mallit avuksi vesienhoidonsuunnitteluun GisBloom- hankkeen pilottalueilla. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29/2013. <https://www.syke.fi/download/noname/%7B2537ADB5-F27B-418C-BAA7-DAC1CF1CFBB1%7D/92361> [viitattu 24.9.2019]
- Väylävirasto. 2013. Tiehankkeiden arviointiohje (päivitetty 10/2015). Liikennevirasto, Helsinki. Liikenneviraston ohjeita 13/2013. [viitattu 24.9.2019] https://vayla.fi/documents/20473/34253/lo_2013-13_tiehankkeiden_arviointiohje_web_p%C3%A4ivitetty+21.10.2015.pdf/2a9aa525-0d9b-4602-9a5b-067b52312e55
- Väylävirasto. 2017. CNOSSOS-EU-Laskentamalli – Laskenta-asetukset ja mallinnusperiaatteet. Liikennevirasto, Helsinki. Liikenneviraston ohjeita 4/2017. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-04_cnoossos-eu_laskentamalli_web.pdf [viitattu 24.9.2019]
- Wahlgren, I. 2017. Yhdyskuntarakenteen ekologisuus ja sen arviointi - EcoBalance-arviointimalli yhdyskuntarakenteen vaikutusten arvioinnissa. Aalto yliopisto, Rakennetun ympäristön laitos. Unigrafia Oy, Helsinki., Aalto University publication series, Doctoral Dissertations 219/2017. <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28895/isbn9789526077123.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 11.9.2019]
- WHO. 2017. Health economic assessment tool (HEAT) for walking and for cycling. Methods and user guide on physical activity, air pollution, injuries and carbon impact assessments. World Health Organization, Kööpenhamina. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/352963/Heat.pdf [viitattu 16.9.2019]
- WHO. 2019. Guidance and tools. <https://www.who.int/sustainable-development/urban/guidance-tools/en/> [viitattu 27.9.2019]
- Ympäristöministeriö. 2017a. Ympäristöviranomaisen SOVA-ohje SOVA-lainsäädännön mukaiset lausunnonantotehtävät. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4722-7> [viitattu 13.5.2019]
- Ympäristöministeriö. 2017b. Oppaat vähähiiliseen rakentamiseen. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Oppaat_vahahiiliseen_rakentamiseen [viitattu 24.9.2019]
- Ympäristöministeriö. 2018. Level(s) – Rakennusten resurssitehokkuuden yhteiset EU-mittarit. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Kansainvalinen_yhteisty/Levels_Rakennusten_resurssitehokkuuden_yhteiset_EUmittarit [viitattu 11.9.2019]
- Ympäristöministeriö. 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 22/2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3> [viitattu 11.9.2019]
- Zulian, G., Paracchini, M.L., Maes, J. & Liqueste, C. 2013. ESTIMAP: Ecosystem services mapping at European scale. Joint Research Centre. Publications Office of the European Union, Luxembourg. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC87585/lb-na-26474-en-n.pdf> [viitattu 17.9.2019]

LIITTEET

LIITE 1. Työkalun teknisten vaatimusten määrittely

Kaupunkien ilmastotoimien vaikutusarvioinnin työkalun kehittämisessä on hyötyä käyttöliittymäosaamisesta ja kokemuksesta erilaisista työkaluprojekteista, sen lisäksi että asiapohjan hallinta muodostaa tietysti arvioinnin perustan. SYKellä on kokemusta usean verkossa toimivan työkalun toteutuksesta, kuten ilmastodieetti.fi, Itämerilaskuri ja kaavoituksen ekolaskuri KEKO (www.ymparisto.fi/keko).

Teknisissä vaatimuksissa voidaan pohjaksi ottaa KEKOn vaatimusmäärittely, koska työkalusta tehtiin julkinen tarjouskilpailu Hilma-järjestelmän avulla ja siksi vaatimusmäärittely jouduttiin tekemään hyvin huolellisesti.

Seuraavassa esitetään vain esimerkinomaisesti ja kohtia yksinkertaistaen (mm. viittauksia asiakirjojen ja liitteiden välillä on poistettu) muutamia kohtia KEKO-työkalun vaatimusten määrittelystä.

Valittuja kohtia tarjouspyynnöstä:

KEKO selainversion tulee täyttää vaatimusmäärittelyssä esitetyt ominaisuudet.

Ylläpito- ja käyttöpalvelun taso määritetään JHS 174 ICT-palvelujen palvelutasoluokituksen avulla. Niihin vähimmäisvaatimukset ovat seuraavat:

1. Palveluaika: P1
2. Käytettävyys: K1
3. Palveluvaste: V1
4. Ratkaisuaajat: V1
5. Tavoitettavuus: T1
6. Ratkaisukyky: R1.

Määritelmät noille vähimmäisvaatimuksille löytyvät siis asiakirjasta 'JHS 174 ICT-palvelujen palvelutasoluokitus. Liite 1 Palvelutasoluokitus'.

Vaatimusmäärittely oli 48-sivuinen dokumentti, jossa kuvattiin monella tavoin millainen työkalun tulisi olla, muun muassa hahmotelmia sen eri sivuista. Siitä on otettu alle yksi Antti Rehusen (SYKE) tekemä käyttötapausten kuvailu (yhteensä käyttötapauksia kuvattiin 3 kappaletta, eli tämän lisäksi 'Uusi käyttäjä' ja 'Kokenut käyttäjä'):

Tapaus 2: Rekisteröitynyt loppukäyttäjä

Liisa on jo aiemmin rekisteröitynyt KEKOn käyttäjäksi. Hänellä on alkanut uusi kaavoitusprojekti, jonka tietoja hän haluaa analysoida laskurin avulla, joten hän navigoi KEKOn etusivulle. Liisa klikkaa Kirjaudu sisään -nappia. Valitettavasti Liisa on unohtanut sekä käyttäjätunnuksensa että salasanasansa, koska edellisestä käyttökerrasta on jo aikaa. Hän klikkaa ruudun "Oletko unohtanut salasanasasi?" -linkkiä, jonka jälkeen hän syöttää sähköpostiosoitteensa. Muutaman sekunnin kuluttua Liisa saa viestin sähköpostiinsa, jossa on kerrottu käyttäjätunnus ja salasana.

Liisalla on suunnitelma, jossa tarkoitus on verrata neljän eri vaihtoehdon ekotehokkuutta. Kun Liisa on päässyt kirjautumaan sisään, hän painaa Uusi projekti -napista ja antaa nimen projektille. Hyväksyttyään tämän OK-painikkeella, avautuu Lähtötiedot-sivu, jossa on auki yksi tyhjä Vaihtoehto



ISBN 978-952-11-5117-0 (nid.)

ISBN 978-952-11-5118-7 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)